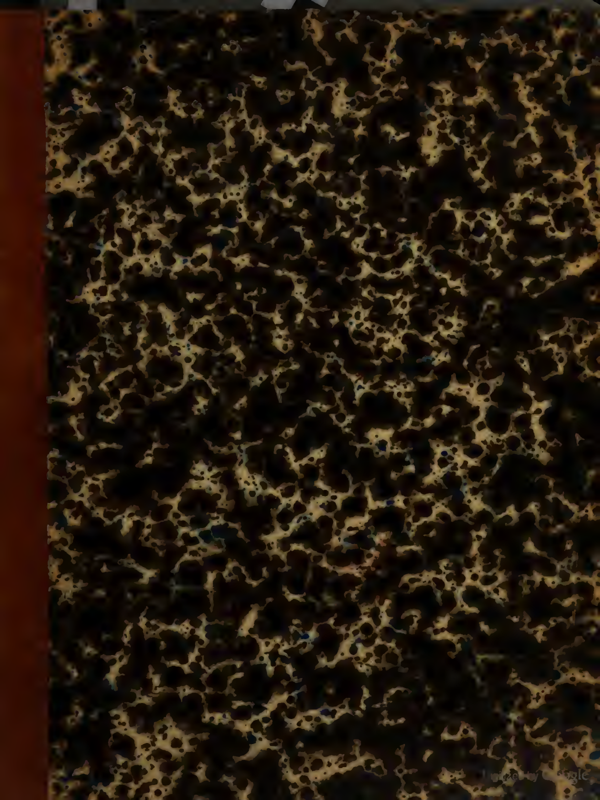


11.1.372.

# PROGRAMME

OU

RÉSUMÉ DES LEÇONS

D'UN

# COURS DE CONSTRUCTIONS.

*DÉPOSÉ*

*pour la propriété des* Notes *et des* Planches
*de* MM. E. Roffiaen et Ed. Despret.

Bruxelles. — Impr. Bruylant-Christophe et Cie, rue Blaes, 31.

# PROGRAMME

OU

RÉSUMÉ DES LEÇONS

D'UN

# COURS DE CONSTRUCTIONS

AVEC DES APPLICATIONS

TIRÉES SPÉCIALEMENT DE L'ART DE L'INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,


PAR J. SGANZIN.

AUGMENTÉ PAR REIBELL,
ingénieur en chef de 1re classe des ponts et chaussées, directeur des travaux maritimes,
chevalier de la Légion d'honneur,


AVEC : 1° LES NOTES ET PAPIERS LAISSÉS PAR L'AUTEUR ;
2° CEUX DE LAMBLARDIE FILS, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES TRAVAUX MARITIMES ;
3° DES TABLES ABRÉGEANT LES CALCULS RELATIFS A LA RÉDACTION DES PROJETS DE ROUTES,
DRESSÉES PAR LALANNE, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES ;
ET 4° DIVERS AUTRES DOCUMENTS.

**Sixième édition**

COMPLÉTÉE ET MISE EN RAPPORT AVEC LES PROGRÈS DE LA SCIENCE ET DE L'INDUSTRIE,


PAR E. ROFFIAEN,
CAPITAINE EN PREMIER DU GÉNIE, PROFESSEUR DE GÉOLOGIE, DE CONSTRUCTIONS ET D'ARCHITECTURE
A L'ÉCOLE MILITAIRE DE BELGIQUE, CHEVALIER DE L'ORDRE DE LÉOPOLD.

ET E. DESPRET,
ingénieur en chef, directeur au chemin de fer Grand-Central belge.


*(Pour la partie relative aux chemins de fer.)*

TOME DEUXIÈME.


BRUXELLES.
BRUYLANT-CHRISTOPHE & COMPAGNIE, ÉDITEURS,
RUE BLAES, 31.

1867

# TABLE DES MATIÈRES [1]

CONTENUES

# DANS LE DEUXIÈME VOLUME.

## TROISIÈME PARTIE.

VIADUCS ET PONTS FIXES EN MAÇONNERIE, EN CHARPENTE ET EN MÉTAL, PONTS SUSPENDUS, PONTS MOBILES.


RÉSUMÉ DE LA DIX-NEUVIÈME LEÇON.

Des viaducs, ponts et ponceaux en maçonnerie. — Des voûtes, piles et culées des ponts. — Du caractère d'architecture de ces ouvrages. . . . . 1

RÉSUMÉ DE LA VINGTIÈME LEÇON.

Des fondations des ponts en maçonnerie. — Des batardeaux. — Des épuisements. — Des caissons foncés et non foncés. — Du travail à l'aide des cloches à plongeurs et des scaphandres. — Des enrochements. . . . . 16

RÉSUMÉ DE LA VINGT-ET-UNIÈME LEÇON.

Notices historiques sur les travaux de divers ponts en maçonnerie anciens et modernes. — Dépenses de construction de quelques-uns de ces ouvrages. — Viaducs et ponts fixes en bois. — Viaducs et ponts fixes en fer . . . . . 33

NOTE *J*. Ponts métalliques. . . . . 64

RÉSUMÉ DE LA VINGT-DEUXIÈME LEÇON.

Des viaducs et ponts suspendus en chaînes de barres de fer et en câbles de fil de fer. — Avantages et inconvénients de ces systèmes. . . . . 80

RÉSUMÉ DE LA VINGT-TROISIÈME LEÇON.

Tracé, levage et épreuve des ponts suspendus. — Des ponts mobiles de diverses dénominations . . . . . 91


(1) Une *Table générale des matières* par ordre alphabétique, indiquant, pour les trois volumes, les numéros des pages et des tomes du texte, ainsi que ceux des planches de l'atlas, se trouve annexée à la fin du *troisième volume*.

## QUATRIÈME PARTIE.

NAVIGATION INTÉRIEURE SUR LES FLEUVES ET RIVIÈRES, NAVIGATION ARTIFICIELLE, IRRIGATIONS, DÉRIVATIONS, DESSÉCHEMENTS, AQUEDUCS, ÉGOUTS, PUITS ARTÉSIENS ET ABSORBANTS.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-QUATRIÈME LEÇON.

Considérations générales sur les cours d'eau ; — sur les transports par eau.—Rivières navigables naturellement. — Ouvrages dépendants. . . . . . . . . . . . . . . . 105

RÉSUMÉ DE LA VINGT-CINQUIÈME LEÇON.

Traversées des villes par les rivières. — Quais, cales, embarcadères et ports de déchargement. — Travaux d'établissement ou d'amélioration de la navigation dans les fleuves et rivières . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 127

RÉSUMÉ DE LA VINGT-SIXIÈME LEÇON.

Barrages transversaux aux rivières. — Barrages amovibles. — Écluses à sas. — Canaux de navigation latéraux aux rivières. — Écluses de jonction à l'amont et à l'aval. . . . 145

NOTE *K*. Barrages et passes navigables . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 161

NOTE *L*. Digues et batardeaux permanents. . . . . . . . . . . . . . . . . . . 169

RÉSUMÉ DE LA VINGT-SEPTIÈME LEÇON.

Des canaux de navigation artificielle. — Calcul des consommations d'eau. — Réservoirs d'eau. — Rigoles d'alimentation. — Biefs de navigation. . . . . . . . . . . . 175

RÉSUMÉ DE LA VINGT-HUITIÈME LEÇON.

Remblais. — Déblais. — Tranchées et souterrains. — Écluses à sas isolés et accolés. — Moyens d'introduction d'eau dans les sas. . . . . . . . . . . . . . . . . . 194

RÉSUMÉ DE LA VINGT-NEUVIÈME LEÇON.

Fermetures d'écluses en bois ou en métal. — Système d'exécution des écluses. — Ponts fixes et mobiles. — Rencontres d'un canal avec des cours d'eau. — Ponts canaux. — Ponts aqueducs. — Passages en rivière. — Remplissage et vidange des biefs. . . . . . . 212

NOTE *M*. Siphons en bois, en maçonnerie et en fonte. . . . . . . . . . . . . . 229

RÉSUMÉ DE LA TRENTIÈME LEÇON.

Système de navigation avec faible dépense d'eau. — Système de petite navigation. — Dérivations. — Irrigations. — Desséchements. — Aqueducs. — Conduits d'eau. — Égouts. — Puits artésiens et absorbants. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 234

## CINQUIÈME PARTIE.

DES OUVRAGES RELATIFS A LA NAVIGATION MARITIME EXTÉRIEURE.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-ET-UNIÈME LEÇON.

Du vent. — Des ondulations. — Des lames et vagues. — Des dénivellations des marées. — Des courants de marée et autres généraux. — Effets des marées sur les fleuves débouchant à la mer. — Destruction des côtes. — Alluvions. — Atterrissements. . . . 259

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-DEUXIÈME LEÇON.

Des courants autres que ceux des marées. — Destruction des côtes. — Alluvions. — Établissement des rades et des ports. — Description des ports *militaires* français. . . . . 285

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-TROISIÈME LEÇON.

Description des principaux ports de commerce français. . . . . . . . . . . . . . 304

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-QUATRIÈME LEÇON.

Des matériaux de constructions dans leur application aux ouvrages à la mer. . . . . . . 339

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-CINQUIÈME LEÇON.

Des ouvrages tels que les épis, endigages, destinés à *prévenir* les alluvions et atterrissements. — Des jetées riveraines des chenaux d'entrée des ports à marées. — Des brise-lames et môles d'abritement. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 362
NOTE *N*. Brise-lames en fascinages. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 387

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-SIXIÈME LEÇON.

Suite des brise-lames et môles d'abritement. — Avant-ports et ports d'échouage. — Bassins de flot, darses et docks. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 389

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-SEPTIÈME LEÇON.

Suite des bassins de flot, darses et docks. — Enlèvement des alluvions des ports et à chenaux . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 418



# PROGRAMME

OU

RÉSUMÉ DES LEÇONS

D'UN

# COURS DE CONSTRUCTIONS.

## TROISIÈME PARTIE.

VIADUCS ET PONTS FIXES EN MAÇONNERIE, EN CHARPENTE ET EN MÉTAL, PONTS SUSPENDUS, PONTS MOBILES.

---

## RÉSUMÉ DE LA DIX-NEUVIEME LEÇON.

DES VIADUCS, PONTS ET PONCEAUX EN MAÇONNERIE. — DES VOUTES, PILES ET CULÉES DES PONTS. — DU CARACTÈRE D'ARCHITECTURE DE CES OUVRAGES.

On nomme *viaducs* les ouvrages d'art par lesqnels une route pavée ou empierrée, ou un chemin de fer, traverse un terrain au-dessous d'elle, et particulièrement une autre route; *ponts*, les ouvrages d'art par lesquels une route on un chemin franchit des rivières et autres cours ou réservoirs d'eau. Lorsque la distance des rives est au-dessous de 4 à 3 mètres, les ponts prennent le nom de *ponceaux*.

Les viaducs et ponts peuvent être formés d'une ou plusieurs arches successives d'une largeur plus ou moins considérable, et être construits en maçonnerie, en bois, en métal, ou dans des systèmes mixtes.

Le *Traité sur la construction des ponts*, de Ganthey, donne la description des principaux viaducs et ponts anciens et modernes.

La longueur d'un viaduc dépend du vide à franchir, et sa largeur de la circulation qu'on veut y obtenir. On a dit, au chapitre relatif aux chemins de fer, quelle devait être Viaducs en maçonnerie.

cette largeur pour ce genre de communications. Pour les viaducs des routes ordinaires, on peut se borner, suivant leur longueur et la plus ou moins grande fréquentation de la route, à réserver : 1° le passage d'une seule voiture avec un ou deux trottoirs pour les piétons, chacun de 0m,70 de largeur minimum en dedans des parapets; 2° le passage pour deux voitures avec un ou deux trottoirs de 1 mètre de largeur minimum.

Un viaduc est ordinairement rectiligne dans sa longueur; toutefois, pour éviter des déviations de routes, particulièrement dans les chemins de fer, ces viaducs peuvent être disposés en plan suivant un axe curviligne, qui est fréquemment circulaire dans la pratique. Mais il y aura à tenir compte de la complication qui en résultera dans l'appareil des voûtes, soit qu'on les exécute en demi-troncs de cône ou en conoïdes.

L'ouverture, le nombre et l'espèce des arches à employer dépendent : de la différence de niveau entre le sol de la route supérieure et celui des terrains inférieurs; de la hauteur des voitures chargées qui passeront sous les arches; du nombre de ces voitures qui doivent simultanément traverser les arches; du plus ou moins de facilité que présentent les localités pour l'assiette des piédroits; enfin des ressources du pays en matériaux.

L'épaisseur des piédroits dépendra de leurs fonctions. On leur fera souvent remplir l'office de culées dans les lieux très-fréquentés, afin d'éprouver le moins d'interruptions que possible dans les communications, en cas d'avaries dans l'une des arches; ou bien l'on aura recours aux voûtes qui exercent la moindre poussée, telles que le plein cintre et l'ogive.

Cette dernière forme sera assez bien appropriée au cas où un chemin de fer, avec machines locomotives à cheminée, passerait sous les arches du viaduc.

Pl. 27. Fig. 171. Si la chaussée du viaduc doit être en une seule pente, ou formée de plusieurs pentes, on sera forcé assez souvent de placer les sommets de ces arches suivant des lignes parallèles à ces pentes, et de modifier en conséquence, ou leur largeur, ou leur montée, ou leur forme.

Pl. 27. Fig. 172. Si le viaduc est d'une grande hauteur au-dessus du sol de ses fondations, on pourra le composer de plusieurs étages de voûtes, au lieu de n'en avoir qu'un seul.

Dans le cas d'un viaduc destiné à faire passer un chemin de fer par-dessus un terrain ou une route inférieure, les *zones* sur lesquelles les transports de ce chemin s'effectueront sont bien déterminées, et il est possible alors de réduire la dépense de l'ouvrage d'art. En effet, au lieu de former chaque arche du viaduc d'une seule voûte s'étendant d'une tête à l'autre, on peut la composer :

Pl. 27. Fig. 173. 1° Dans les piédroits, soit de *pilastres* isolés, soit de pilastres liés l'un à l'autre par de petites voûtes;

2° Dans la voûte même, avec de simples arceaux correspondant à ces pilastres, et à la direction des lignes des rails;

3° En réduisant les parapets de rive à deux simples balustrades en fer ou même en bois.

D'autres élargissements peuvent aussi avoir lieu dans les reins de ces arceaux élémentaires de la voûte de chaque arche.

Il faut considérer, en effet, dans ce genre de viaducs, que la charge temporaire est limitée au poids de la plus forte diligence ou machine locomotive, et qu'en exagérant la masse des maçonneries d'un viaduc au delà de ce qu'exige la charge temporaire, non-seulement on fait une dépense superflue, mais on complique les conditions d'une bonne fondation.

Au reste, cette dernière observation est *applicable à toute espèce d'ouvrages d'art*. Les figures 174 des planches indiquent les dispositions assez ingénieuses prises en Angleterre, au chemin de Londres à Birmingham, pour le viaduc de Trent. Pl. 27 Fig. 174.

On voit qu'il ne saurait y avoir de règles générales sur les points sommaires qu'on vient d'indiquer ; car l'économie dans les dépenses, la durée des ouvrages, doivent s'y concilier avec une foule d'autres conditions.

Les fondations devront être établies d'après les principes généraux exposés plus haut. On fera remarquer seulement que, dans les viaducs, on peut opposer aux poussées horizontales, obliques ou parallèles au plan des fondations des piédroits, des *plans d'étrésillonnage en charpente*, des radiers généraux en maçonnerie plate ou en voûte renversée, enfin des radiers en béton, qui rendent solidaires l'une de l'autre les diverses fondations isolées des piles et culées, lorsque toutefois elles ne seront pas séparées par des intervalles trop considérables. Fondations des viaducs.

Les plans d'étrésillonnage devront avoir une force telle, qu'ils résistent à la compression exercée sur eux par les poussées extrêmes. Les pièces élémentaires, qui n'auraient d'ailleurs besoin que d'être dégrossies, seraient dirigées en conséquence dans le sens de ces poussées ; mais elles seraient croisées à angles droits par des cours équidistants de ventrières chevillés avec elles, et diagonalement par d'autres cours de mêmes pièces.

Si les longueurs des bois dont on disposera sont insuffisantes pour l'intervalle d'un piédroit à l'autre, on les *entera*, en ayant soin de croiser les joints et de placer les cours des ventrières en correspondance avec les joints *d'écart*, ainsi qu'il est indiqué dans les figures 175 des planches. Pl. 27. Fig. 175.

On peut encore recourir à une autre combinaison indiquée dans les figures 176 des planches. Pl. 27. Fig. 176.

Si les bois de l'étrésillonnage du radier ont une pesanteur spécifique moindre que celle de l'eau, il faudra en recharger le dessus par une couche de libages qui compense la différence.

Les radiers en maçonnerie, à *voûte renversée*, conviennent particulièrement aux terrains vaseux ou marécageux, où la charge des divers piédroits tendrait à produire des gonflements dans l'intervalle qui les sépare deux à deux. Mais ces radiers, qui ne peuvent avoir généralement qu'une flèche au maximum de 1/6, exigent, pour être efficaces, des matériaux d'un fort échantillon et d'un prix élevé. On leur préférera des massifs de Pl. 27. Fig. 177.

béton, d'une épaisseur même de 1m,50 à 2m,50, toutes les fois que ces massifs auront le temps de durcir avant d'être soumis aux efforts permanents des poussées latérales sur les fondations des piédroits.

Des considérations d'économie déterminent même quelquefois à se borner à remplacer le mauvais terrain entre les fondations des piédroits par une couche épaisse de blocaille et d'enrochements.

**Raccordements des viaducs avec les zones attenantes de routes.**

Les raccordements d'un viaduc avec les abords de la voie de transport à laquelle il appartient, s'effectuent par divers moyens et suivant les divers cas qui peuvent se présenter.

Ainsi, un viaduc peut être placé à la rencontre :

Pl. 27. Fig. 178. 1° De deux vallées ou tranchées, dont les fonds soient à des niveaux différents;

2° D'une tranchée supérieure avec un remblai inférieur ;

3° De deux remblais étagés l'un au-dessus de l'autre;

4° D'une levée en remblai passant au-dessus d'une tranchée, ce qui est le cas le plus ordinaire.

Le viaduc, dans ces diverses positions, peut aussi avoir la même largeur de voie que la route ou le chemin de fer auquel il appartient, ou bien avoir une largeur moindre par des motifs d'économie.

Enfin, dans le 4e cas indiqué ci-dessus, le viaduc peut ou s'élever jusques à la surface de la voie de communication qu'il doit prolonger, ou rester au-dessous de cette surface, de manière que les remblais de la levée se continuent par-dessus.

Pl. 27. Fig. 179. Dans les positions nos 1 et 2 ci-dessus, si le viaduc a la même largeur que le chemin correspondant, le raccordement s'opère en prolongeant simplement les deux têtes de l'ouvrage jusqu'à la rencontre des talus des tranchées. Ces prolongements servent alors à la fois de contre-forts aux piédroits ou culées des arches extrêmes.

Pl. 28. Fig. 180. Dans les positions nos 3 et 4, si le viaduc reste sous les remblais de la levée supérieure, on met ses deux têtes tantôt dans les plans mêmes des talus des remblais, tantôt dans deux plans verticaux. Le premier mode donne lieu à quelques difficultés de l'appareil en biais, et expose les têtes du viaduc à toutes les dégradations déjà signalées dans les revêtements en talus.

Pl. 28. Fig. 181. Le second mode conduit aux diverses solutions indiquées figures 181 des planches. Dans la solution (C), on s'était autrefois beaucoup trop préoccupé de la recherche de l'angle le plus convenable à l'évasement en plan des pans coupés, dénommés plus particulièrement *murs en aile* (lorsqu'ils sont en talus dans le sens vertical). L'on était arrivé à poser en règle générale, que la trace horizontale du pan coupé en *mur en aile* devait faire un angle de 22° 1/2 avec une parallèle à l'axe longitudinal des arches extrêmes d'un viaduc ou pont.

**Murs en aile.**

Il est inutile de dire, d'ailleurs, que les plus simples notions de coupe des pierres exigent que les lits horizontaux de l'appareil des têtes du viaduc se prolongent dans les murs en retour, pans coupés ou en *ailes*, sauf à se dévier, sur 0m,16 à 0m,20 de hauteur,

normalement aux surfaces apparentes de rencontre de ces murs avec les talus inclinés.

Dans les mêmes positions, nos 3 et 4, si le viaduc s'élève jusques à la surface de la voie en remblai et qu'il ait la même largeur qu'elle, on pourra encore recourir aux solutions qu'on vient d'indiquer. Mais souvent alors on dispose en *gradins ou escaliers* les couronnements rampants des murs droits, pans coupés et murs en ailes, pour les communications entre le bas et le haut du viaduc. Pl 28. Fig. 182.

Enfin si le viaduc, étant toujours élevé jusques au niveau de la levée en remblai, présente un débouché moindre que cette dernière, on raccorde les deux débouchés différents par des surfaces, en pans coupés, droites ou curvilignes; ces surfaces elles-mêmes sont formées soit par des murs de soutènement, soit par des talus simples ou revêtus de perrés. Les exemples donnés dans les figures 183, 184 et 185 suffisent pour éclaircir la question. Pl. 28 Fig. 183, 184, 185

*Ponts et ponceaux en maçonnerie.*

Ponceaux en maçonnerie.

Les ponceaux sont placés ordinairement aux rencontres d'une route avec de faibles cours d'eau non flottables ni navigables, ou avec des ravins dans des terrains accidentés. Leur axe doit toujours être suivant le fil de l'eau, sauf à les placer en biais par rapport à l'axe de la route.

Leur débouché est en raison du volume d'eau maximum qu'ils ont à évacuer. Si le ponceau est établi sur un cours d'eau permanent, on lui donne une largeur de débouché équivalente au maximum du débouché de celle des sections en amont, où il n'y a point de hauts fonds, d'alluvions ni de corrosions. A défaut de ce point de départ, il faut étudier le cours d'eau dans les étiages et les crues, connaître les volumes d'eau et vitesses à ces deux limites supérieure et inférieure, la hauteur, l'étendue et la durée des inondations en amont, s'il y en a, et établir la section du ponceau d'après ces données et la formule de M. de Prony,

$$u = -0,07 + \sqrt{0,0051 + 3233RI}\ ;$$

où $u$ est la vitesse moyenne en mètres par seconde; I, la pente par mètre ; R, le rayon moyen ou la surface du débouché en mètres carrés, divisées par le périmètre mouillé, exprimé en mètres.

Si le ponceau devait être établi près du confluent du cours d'eau avec une rivière considérable, dont les crues pourraient refluer par cet ouvrage, ses dimensions n'en devraient pas moins être réglées uniquement sur le volume des eaux du ruisseau.

Si le ponceau est établi sur un ravin, il faut rechercher, par des observations multipliées, quel est le maximum de volume d'eau affluente dans l'unité de temps, à la suite des orages ou des fontes de neiges, et régler le débouché de manière que ce volume s'écoule sans déterminer d'inondations dans les terrains en amont, ni de cascades sous le ponceau, qui, affouillant les fondations, entraîneraient la ruine de l'ouvrage.

Ponceaux sur ravins.

S'il y a déjà des ponceaux construits dans les environs, et qui suffisent après les orages et fontes de neiges, on pourra établir le débouché des nouveaux ouvrages de ce genre d'après les surfaces respectives des bassins qui versent leurs eaux, et en tenant compte des pentes plus ou moins déclives du sol. Dans les pâys plats, où les reliefs de terrains n'ont que 15 à 20 mètres de bauteur, on est dans l'usage de donner de $0^m,45$ à $0^m,50$ de largeur pour 1,000 hectares; et cette largeur est portée jusqu'à 2 mètres pour 1,000 hectares si les accidents de terrain sont plus prononcés. Il est évident d'ailleurs que si le ponceau était placé au point central d'affluence des eaux arrivant en même temps dans tous les sens, il aurait besoin de plus de débouché que s'il se trouvait à des distances très-inégales des principaux versants.

Lorsqu'un ponceau doit servir à l'écoulement des eaux arrivant dans une vallée, où le terrain est peu solide, il sera convenable de le placer plus haut, sur le flanc d'un cotean, en creusant de nouveaux lits aux eaux à l'amont et à l'aval.

Enfin, il est, dans les pays très-plats et notamment en Alsace, des chemins qui *forment levées*, et qui retiendraient les eaux des inondations sur celle de leurs rives qui est à l'amont, s'ils n'étaient percés par un grand nombre de ponceaux établis dans les points les plus bas du terrain. Ces ponceaux sont à sec pendant une grande partie de l'année. Leurs nombre, dimensions, et la bauteur de leur radier doivent être réglés d'après l'étendue et le niveau des terrains inondés, et le temps minimum d'écoulement pour que l'agriculture n'éprouve pas de pertes considérables.

Voûtes des arches des ponceaux.

De toutes les courbes qui peuvent être employées pour la construction des voûtes des ponts et ponceaux, le demi-cercle, appelé *plein cintre*, est la plus belle et la plus pure.

Les anciens l'ont presque toujours adoptée.

Son usage ne convient cependant pas à toutes les circonstances de localités.

Elle élève quelquefois trop les ponts, et rend leur abord difficile.

Le plein cintre, donnant beaucoup de largeur aux reins et aux tympans des voûtes, s'oppose à l'écoulement des eaux, puisque à mesure qu'elles s'élèvent elles trouvent un moindre débouché. On n'y remédie qu'incomplétement par des évidements dans les reins, parce que les contractions des veines fluides y sont plus fortes que dans un débouché principal unique.

Ces considérations déterminent à borner l'emploi des pleins cintres à certaines localités, et en général aux ponts d'une petite ouverture.

La voûte en plate-bande est celle qui satisferait le mieux aux conditions du plus grand débouché; mais on en fait rarement usage pour les ponts, à cause des difficultés de construction et de réparations; elle n'est pas d'ailleurs applicable aux grandes ouvertures, à cause de la grande énergie des poussées horizontales qu'elle exerce.

Après la plate-bande, c'est la voûte en arc de cercle qui satisfait le mieux à la condition du plus grand débouché.

Cette dernière voûte a aussi l'inconvénient d'exercer des poussées horizontales assez considérables.

On lui préfère ordinairement la voûte, dont le cintre de face est une ellipse surbaissée ou anse de panier : cette courbe tient le milieu entre celle en arc de cercle et le plein cintre.

Pour diminuer les contractions d'eau aux têtes des arches, on a recours quelquefois à l'expédient suivant : les têtes des arches présentent des arcs de cercle d'une faible montée qui se raccordent avec les voûtes en plein cintre, elliptiques et autres, du reste de la longueur des arches, par des surfaces gauches, qu'on nomme vulgairement *arrière-voussoirs* et *cornes de vache*.

Si la vitesse des eaux aux abords du ponceau est grande, par exemple, de plus de 2 mètres par seconde, il sera prudent de faire tomber les eaux à l'amont par un puits en maçonnerie ; de parementer de la même manière le radier de l'ouvrage, et d'en défendre les têtes à l'aide de pierres appareillées en plates-bandes, et même à l'aide d'*arrière-radiers* en fascinages, ou en enrochements. Pl. 29. Fig. 186.

Le radier d'un ponceau est souvent établi en voûte renversée, dont la flèche de courbure est telle que, retranchée du rayon, elle laisse pour reste une fois et demie ou deux fois l'ouverture de l'arche.

Tout ce qu'on a dit précédemment sur les raccordements des viaducs avec leurs abords s'applique d'ailleurs aux ponceaux.

Les figures 187 des planches donnent les tracés et dessins relatifs à un ponceau placé sur des remblais. Pl. 29. Fig. 187.

Les figures 188 et 189 sont relatives à un ponceau dont le dessus arase la plate-forme des levées aux abords. Pl. 29. Fig. 188 et 189.

Enfin les figures 190 et 191 indiquent divers modes d'épauler les terres d'une levée aux abords d'un ponceau disposé comme dans les figures 188. Pl. 30. Fig. 190 et 191.

Ponts en maçonnerie.

Lorsqu'il s'agit de la formation d'un grand projet de pont, l'ingénieur doit commencer par lever un plan exact des lieux, sur lequel soient indiqués d'une manière précise : la largeur du cours d'eau ; les accidents du terrain ; les bancs d'alluvions que les basses eaux découvrent, les îles; enfin la direction des chemins ou des rues qui doivent aboutir au pont. Il est non-seulement essentiel de bien connaître les abords de son emplacement, mais il faut encore, au moyen de nivellements, suivant la ligne du projet en amont et en aval, établir le profil du lit et des rives, mesurer avec soin le volume des eaux en diverses circonstances, rattacher avec exactitude au nivellement la hauteur de l'étiage ou des plus basses eaux, ainsi que celle des plus grandes crues. On doit aussi joindre à ce nivellement des sondes assez multipliées pour déterminer, dans tous les points du profil, la nature du sol et la profondeur à laquelle se trouve le terrain ferme. Enfin, on rattache tout le nivellement à un point invariable, et qui doit ultérieurement servir de *repère* pour les opérations relatives à la construction.

L'axe du projet doit être placé, autant que possible, perpendiculairement au cours de la rivière, afin que les faces longitudinales des piles et culées soient parallèles au fil de l'eau ; et lorsque l'établissement général du projet s'y oppose, il vaut mieux exécuter le

pont avec têtes biaises que d'établir des piles formant angle avec le courant, parce qu'alors exposées elles-mêmes aux affouillements, elles seraient de plus uno cause permanente d'entraves ou d'accidents pour la navigation.

**Ponts avec axe curviligne.**

On a quelquefois, pour raccorder des portions de route qui sur chaque rive n'étaient pas dans le prolongement l'une de l'autre, exécuté des ponts suivant nn axe curviligne en plan, auquel le fil de l'eau du thalweg était normal ; mais cette disposition a en grande partie les inconvénients qu'on vient d'énumérer, et de plus celui de créer beaucoup de complications dans l'appareil des voûtes. On trouvera, dans le tome 1[er] du *Traité de construction des ponts* de Gauthey, la description d'un pont de *carrefour* très-compliqué d'appareil, placé à la jonction des canaux du Midi et de Narbonne.

Pl. 30. Fig. 192.

Pl. 30. Fig. 193.

**Nombre, ouverture et espèce des arches des ponts en maçonnerie.**

Les masses principales et leur position étant ainsi arrêtées, il reste à déterminer le nombre, l'ouverture et l'espèce des arches dont le pont doit être composé ; les fonctions des piédroits ou, ce qui est la même chose, il faut fixer la section du débouché, en tenant compte non-seulement du volume des eaux à évacuer, mais des besoins du flottage, de ceux de la navigation, des dimensions des bateaux, de leur manœuvre, etc.

La solution de cette question, et indépendamment des sujétions locales, des considérations d'économie, de durée, se rattache principalement au volume des eaux auquel le pont doit donner passage à l'époque des plus grandes crues. Car il s'agit en effet d'y proportionner le débouché total des ouvertures, de manière que la vitesse du courant qui s'établirait sous le pont ne fût pas trop considérable, n'exposât pas les piles à être affouillées, ne rendît pas dangereux le passage des bateaux ; de manière aussi que le remou ou gonflement d'eau en amont ne pût pas augmenter l'étendue et la durée des inondations, enfin que la cascade d'eau *en aval* n'en corrodât les rives.

Les expériences de Dubuat, qui ont fait faire des progrès à la science des eaux courantes, et surtout les recherches ultérieures de M. de Prony sur la concordance avec l'expérience des formules qu'il a rectifiées, ont appris que la vitesse moyenne, élément dont on a besoin pour calculer le volume des eaux qui s'écoulent, était à très-peu de chose près égale aux $\frac{4}{5}$ de la vitesse à la surface.

Feu M. Navier a démontré depuis (t. VI des Mémoires de l'Académie des sciences) que, lorsque les eaux se meuvent dans un lit *rectiligne suivant* des lignes *droites parallèles à l'axe* du lit, la vitesse moyenne et la vitesse la plus grande dans le thalweg à la surface, tendent à devenir égales à mesure que les dimensions du lit deviennent plus petites, et *quelle que soit la figure de la section transversale*. Le rapport des deux vitesses est d'ailleurs indépendant de leur valeur absolue. Si la profondeur verticale de l'eau est très-petite et la largeur très-grande, la vitesse moyenne sera les 0,64 de la vitesse maximum. Si les deux dimensions sont toutes deux très-grandes, le rapport devient 0,41.

Toutefois, M. Navier reconnaissait lui-même que l'hypothèse ci-dessus du mouvement linéaire se réalisait rarement dans le lit des fleuves.

On pourrait, au moyen de ces données, si elles étaient les seules, obtenir assez exac-

tement la solution du problème dn débouché. Mais la considération du plus ou moins de ténacité du terrain qui forme le lit de la rivière, et l'influence des remous en amont entrent pour beaucoup dans cette solution, et il faut y avoir égard, afin de déterminer la vitesse à laquelle on doit s'astreindre.

On peut apprécier, dans le tome Ier du *Traité sur la construction des ponts* de Gauthey, et dans les articles insérés par MM. Vicat, de Prony, Vauthier, Coriolis et d'Aubuisson, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835, 1836, 1837, l'importance de ces remous et les moyens d'en calculer la portée relativement au niveau naturel des eaux et aux rives en amont.

Si le pont devait être construit sur un sol de rocher, il n'y aurait plus d'inconvénients, sous le rapport des affouillements, à adopter un débouché moindre que celui que présente la section moyenne de la rivière; mais si le lit est composé de matières susceptibles d'être enlevées ou corrodées par le courant, il devient indispensable de donner un débouché à peu près égal à cette section. Que si la rivière était très-encaissée et à rives résistantes, il n'y aurait pas non plus à se préoccuper des effets du remous à l'amont. Mais il resterait toujours des entraves et des dangers très-grands pour la navigation toutes les fois que la rivière serait ou devrait être rendue navigable.

Le parti qui paraît le plus convenable dans toutes les circonstances, c'est d'examiner le débouché des ponts, s'il en existe sur la même rivière, au-dessus de celui qu'il s'agit de construire; de rechercher la vitesse qui résulte de ce débouché, et les effets de cette vitesse sur le fond; d'observer si elle n'occasionne pas d'affouillements, auxquels l'art soit obligé de porter remède; enfin, si ce fond est de même nature que celui qui doit recevoir le nouveau pont, il n'y a pas de doute qu'on ne puisse adopter le même débouché, en le modifiant toutefois en raison des affluents qui peuvent avoir eu lieu depuis le pont pris comme *type*, et de manière que la vitesse moyenne, sous le nouveau pont, soit la même, dans les mêmes circonstances, que celle qui a lieu sous ce pont type.

La largeur du débouché étant déterminée, quoique les épaisseurs des piles n'entrent pas dans cette largeur, comme leur masse est toujours un obstacle au courant, il est important de n'en faire que le moins possible.

Dans les contrées où les eaux des rivières charrient des glaçons et éprouvent des débâcles subites et simultanées avec des crues d'eau, le grand nombre de piles peut déterminer la destruction du pont, *quand même ses fondations seraient à l'abri d'accidents*, parce que l'accumulation de ces matières, entraînées avec une grande vitesse, serait une force vive énorme qui agirait sur le pont dans le sens où il offre le moins de résistance.

Mais si, de plus, les fondations sont susceptibles d'être attaquées par des corrosions, le danger pour le pont serait beaucoup plus grand encore, parce que les glaçons ou débris flottants amoncelés en amont des piles formeraient une sorte de barrage au-dessous duquel les eaux s'écouleraient avec une augmentation de vitesse d'autant plus mar-

quée, que les contractions de débouché seraient plus nombreuses dans la longueur du pont. Aussi, les ponts des grands fleuves d'Allemagne ou des États-Unis d'Amérique ont généralement un petit nombre d'arches de grande ouverture.

Le principe précédent a cependant pour limite, d'une part, le maximum d'ouverture qu'il est possible d'adopter avec les matériaux *disponibles*, et, de l'autre, la hauteur de la montée que les localités permettent de donner. La montée la plus surhaissée ne peut être généralement, pour de très-grandes voûtes, au-dessous du [illegible] de l'ouverture. D'ailleurs on tient ordinairement le sommet de la voûte au-dessus des plus hautes eaux, de 1 à 2 mètres.

Des voûtes des ponts en maçonnerie.

Quand la distance du dessus du pont au plan des fondations est très-considérable, on peut du reste, comme il a été dit pour les viaducs, et comme il a été fait au pont du Gard, établir en hauteur plusieurs étages de voûtes.

Comme il est avantageux d'avoir un vide placé au milieu du cours de la rivière, où se trouve ordinairement le *thalweg*, ou ligne de la plus grande profondeur et de la plus grande vitesse des eaux, il en résulte que si le pont a plusieurs arches, leur nombre, à partir de l'unité, devra croître généralement de deux.

L'adoption du système des voûtes en portion de berceau supprime beaucoup des difficultés qui résultent ordinairement de la multiplicité des conditions locales à remplir.

Les voûtes en berceau, formées d'un seul arc de cercle, peuvent avoir leur naissance à la hauteur des plus grandes eaux, et même un peu au-dessus, circonstance favorable à l'écoulement des crues; ce genre de construction procure d'ailleurs la facilité d'établir, pour la navigation, un chemin de halage sous l'une des arches extrêmes. Les figures 194, relatives au nouveau pont d'Iéna, en donnent l'indication. (Pl. 30. Fig. 194.)

Ces avantages semblent devoir déterminer, toutes choses égales d'ailleurs, l'adoption de ce système de voûtes.

Au pont de Neuilly, pour faciliter l'écoulement des eaux et élégir à l'œil les masses de maçonnerie, Peyronnet avait évasé les entrées et sorties des têtes, en raccordant les anses de panier du corps des voûtes, par des surfaces gauches, avec des arcs de cercle tracés sur les têtes. Cette combinaison, déjà mentionnée plus haut, a été suivie également dans les ponts plus récents de Bordeaux et de Libourne. (Pl. 30. Fig. 195.)

Dans quelques ponts, on a évidé les reins ou tympans des voûtes par des ouvertures supplémentaires de diverses formes, destinées à augmenter le débouché pour l'écoulement des eaux des crues, et à diminuer le poids des maçonneries sur les fondations. (Pl. 31. Fig. 196.)

On chercherait au reste en vain à remédier à l'insuffisance du débouché du thalweg; en reculant les culées dans les terres pour augmenter la section de la rivière, cet élargissement se trouvant hors du courant, les eaux y seraient stagnantes; les alluvions s'y déposeraient et rétabliraient le lit dans son état de largeur primitive, et la vitesse, ainsi que les effets sur le fond, seraient bientôt les mêmes.

Si les culées tiennent à des quais déjà construits, leur nu devra être généralement établi sur l'alignement de ces quais.

Cependant, si le lit de la rivière avait entre les quais une largeur superflue, on pourrait, avec avantage, faire saillir les culées ainsi qu'il a été fait dans une foule de ponts anciens et modernes.

Cette disposition de culées en saillie facilite les abords du pont et est d'un bon effet.

D'ailleurs, un débouché trop considérable est un inconvénient : il occasionne, lors des basses eaux, des atterrissements qui s'élèvent successivement et rendent quelquefois la *section insuffisante lors des crues*.

Dans les ponts sur rivières navigables, il faut de plus pourvoir aux besoins du halage. Tantôt on établit les chemins de halage en dedans des arches extrêmes et en les adossant aux culées, ainsi qu'il a été fait aux ponts de la Concorde, de Saint-Maxence et d'Iéna. Tantôt on ménage des arches dites de halage dans les massifs des culées, comme dans les ponts de Neuilly et de Sèvres. Le pont de Chester, en Angleterre, représenté dans les fig. 197 des planches, est dans le même système; on peut y remarquer des artifices ingénieux d'appareil pour contre-balancer l'effet de la poussée de la voûte. Pl. 31. Fig. 197.

Dans quelques cas, et particulièrement pour les ponts de peu de relief sur les terrains d'alentour, situés sur des rivières de peu de vitesse et d'un régime très-régulier, on n'établit ni chemins de halage sous les arches, ni arches marinières dans les culées, et le halage est interrompu pendant la traversée du pont.

Dans tous les cas, il est utile de garnir de lignes d'organeaux les parements des piédroits des arches extrêmes et des arches intermédiaires pratiquées habituellement par les bateaux.

Largeur d'un pont en maçonnerie entre ses deux têtes.

La largeur d'un pont entre ses têtes dépend de l'importance de la route à laquelle il appartient.

On a des exemples de diverses largeurs depuis 7 mètres jusqu'à 16 mètres; le nouveau pont de Bordeaux a 14 mètres; dans les grandes villes, on leur assigne des largeurs plus considérables encore.

Ainsi le pont Neuf, à Paris, a 22 mètres de largeur entre les parapets. Le tome Ier du *Traité de la construction des ponts* de Gauthey indique les dimensions principales des ponts anciens et modernes, tant en France qu'à l'étranger.

En général, les ponts sont moins larges que les routes : on rachète cette largeur à leurs extrémités, comme il a été dit pour les viaducs, par des élargissements brusques, ou par des évasements en pans coupés rectilignes, ou par des demi-tours creux ou ronds. Ces pans coupés sont utiles pour faciliter les abords. Pl. 28. Fig. 183, 184, 185.

Lorsque les localités se refusent à ces pans coupés extérieurs à la largeur du pont, on se les procure, soit par le moyen employé au pont Royal à Paris (figures 198 des planches), soit en établissant ces raccordements sur des pendentifs dans les angles, et même quelquefois en les posant en encorbellement sur des voûtes spéciales; mais ce dernier moyen entraîne plusieurs inconvénients relativement à l'appareil. Pl. 31. Fig. 198.

Dimensions des piles des ponts en maçonnerie.

On a beaucoup varié sur la manière de considérer les fonctions des piles. C'est cependant de cette considération que résulte l'épaisseur qu'elles exigent.

Les uns ont voulu qu'elles formassent culée pour chaque ouverture, en ajoutant au poids des voûtes les charges mobiles évaluées habituellement au maximum à 200 kilogrammes par mètre carré; d'autres personnes, parmi lesquelles on compte des ingénieurs du premier mérite, ont pensé que les piles ne devaient satisfaire qu'à deux conditions : 1° de supporter le poids des charges fixes et mobiles; 2° de résister à la différence des poussées de deux arches voisines, au moment où l'une d'elles porte seule la charge mobile.

Dans le premier cas, les piles doivent avoir pour épaisseur celle des culées elles-mêmes.

Dans le deuxième cas, l'épaisseur des piles pourrait être seulement le double de la hauteur de clef de l'une des demi-voûtes, voussoir qui est le plus comprimé de tous. Mais dans quelques-uns des grands ponts construits récemment, et où les piles ne forment pas culée, l'on a donné le quart, et même quelquefois le tiers en sus des résultats auxquels conduisait la règle empirique ci-dessus.

L'admission du deuxième système procure une grande économie de matériaux, et l'on peut même dire qu'elle ajoute généralement à la solidité des ponts, en diminuant, par une moindre épaisseur des piles, les causes des affouillements qui occasionnent la ruine de ces ouvrages. Aussi, dans la plupart des ponts exécutés de nos jours, l'épaisseur des piles a été restreinte à 5, 4 mètres, et jusqu'à 3 mètres.

On a même, dans quelques ponts, élégi les piles par des voûtes percées dans le sens de leur longueur, notamment au pont Saint-Maxence, dû au célèbre Peyronnet, et le plus hardi des ponts surbaissés en arc de cercle.

Pl. 31. Fig. 199.

Ce pont avait été coupé en 1814. Trente ans après son achèvement, l'on avait fait sauter l'arche attenante à la rive gauche. Toutefois, l'explosion avait laissé à la tête d'amont de cette arche une zone de 2m,50 de largeur, dont les claveaux, surtout vers la clef, avaient été fracturés et déplacés. Grâce à l'excellente construction du pont, cette opération qui devait entraîner au moins la chute *partielle* de l'arche du milieu, et par suite de l'arche de la rive droite, n'a été suivie d'aucune altération dans cette dernière. Dans l'arche du milieu, la zone d'amont de la première pile de la rive gauche a surplombé de 0m,0012, la zone d'aval de 0m,03. La voûte de cette arche a tassé de 0m,008 à l'amont, de 0m,17 à l'aval. Les joints s'y étaient ouverts à l'intrados au sommet de la voûte, et à l'extrados contre le coussinet. La restauration du pont s'est faite en étrésillonnant la pile surplombée, reconstruisant successivement une première zone de la voûte à la tête d'aval, une deuxième zone au milieu, enfin en démolissant la zone restée à l'amont, et la remplaçant par de la maçonnerie neuve.

L'emploi du deuxième système ci-dessus exige d'excellents matériaux d'une grande dimension, la liaison intime des voûtes avec les piédroits, la certitude d'un bon fond, et celle d'un régime bien établi dans le lit de la rivière; ce système occasionne en outre

une plus grande dépense pour les cintres, parce qu'on est obligé de construire, et par conséquent de cintrer toutes les voûtes à la fois.

Il est encore convenable, dans ce cas, de restituer aux piles, par des retraites au-dessous de l'étiage, une partie de l'épaisseur qu'elles auraient eue si on les eût considérées comme culées. Quelquefois même on a fait épaissir progressivement les piles depuis les naissances des voûtes jusqu'à leur base, soit par l'inclinaison rectiligne en talus des parements, soit par un renflement curviligne. Pl. 32. Fig. 200.

Lorsqu'il s'agit de construire un grand pont sur une rivière sujette à des crues fréquentes, *dont le fond est mobile* et le *régime variable*, il faut évidemment renoncer au système des piles minces, puisque la chute de l'une d'elles entraînerait celle de tout le pont.

On doit alors construire des piles formant culées ; cependant, pour diminuer l'inconvénient du rétrécissement du lit, et par conséquent d'un moindre débouché, on peut n'établir ces *piles culées* que de deux, ou même de trois en trois arches.

Ce moyen, indiqué par des ingénieurs célèbres, partage le pont total en plusieurs parties, et concilie les avantages propres aux deux systèmes.

Ponts écluses en maçonnerie.

Souvent des ponts établis sur des rivières navigables, ou qui doivent être rendues navigables, sont éclusés de manière à retenir les eaux d'amont à un niveau constant. On épargue ainsi les dépenses que coûteraient les deux ouvrages isolés. Les conditions spéciales qui en dérivent sont de nature à modifier les formes, les dimensions des arches, des piles et des radiers intermédiaires aux arches, ainsi qu'on le verra à la section relative à la navigation intérieure.

Les figures 201 des planches représentent quelques-uns de ces ouvrages. Pl. 32. Fig. 201.

Avant-becs et arrière-becs des piles et culées des ponts en maçonnerie.

Les têtes des ponts sont défendues en amont contre les chocs des corps flottants, par le prolongement du corps carré des piles. Ces défenses ont également lieu à l'aval des ponts.

Ces prolongements des piles sont ce qu'on appelle les *avant* et *arrière-becs*.

Ils doivent avoir à la fois une grande résistance, et une forme telle néanmoins, qu'elle réduise au minimum le gonflement du niveau de l'eau, l'espèce de cascade qu'on remarque dans le trajet des arches des ponts, et surtout les remous et tournoiements d'eau qui, dans des terrains sablonneux et mobiles, sont la cause principale des affouillements. Le tome I[er] du *Traité de la construction des ponts* de Gauthey, chap. V, parag. 2, pl. 14, relate les expériences faites sur diverses formes d'avant-bec et d'arrière-bec. Le même sujet a été traité dans les *Annales des ponts et chaussées*, relativement à des ponts sur la Dordogne.

Dans les ponts anciens, ces avant et arrière-becs forment ordinairement un prisme ayant pour base un triangle isocèle, quelquefois mixtiligne, composé de deux arcs de cercle, dont l'épaisseur de la pile forme la base et le rayon. Pl. 32. Fig. 202.

Ces corps saillants doivent toujours s'élever au reste jusqu'à la hauteur des grandes eaux.

On les surmonte d'une *plinthe*, terminée elle-même par un solide nommé *chaperon*, dont on a varié la forme de plusieurs manières. Dans les ponts modernes, la plns simple et la plus agréable est un demi-cône aplati; c'est celle employée au pont de Neuilly.

Pl. 32. Fig. 203. Le plan triangulaire des avant-hecs n'est plus d'un usage aussi fréquent; on lui a préféré, dans des grands ponts récents, la forme demi-circulaire.

Quelquefois les piles prennent, dans les ponts décorés, la forme de colonnes engagées; quelquefois on prolonge ces espèces de colonnes jusqu'à l'entablement qu'elles supportent.

Pl. 32. Fig. 204. Aux ponts de Black-Friars et de Waterloo, à Londres, les piles sont surmontées d'un groupe de deux petites colonnes qui ne portent que leur entablement, et dont l'objet est d'orner la *lisse* des tympans.

Au reste, pour défendre les saillies des piles vers l'amont contre le choc des glaces, des corps flottants et des hateaux de la navigation, on place quelquefois en avant un système de charpente pyramidal à base triangulaire, enraciné dans le fond du lit de la rivière, et qui présente au courant unc arête inclinée de l'amont à l'aval.

*Caractère d'architecture des ponts en maçonnerie.*

L'architecture des ponts, principalement recommandable par les grandes masses et la hardiesse des constructions, repousse des ornements trop multipliés et qui seraient disparates.

La seule snjétion, dans lenr appareil, est le raccordement de voussoirs avec les assises horizontales des reins.

Dans l'architecture ordinaire, et pour des voûtes peu considérables, on ohtient quelquefois ce raccordement par un moyen qui n'est admissihle que jusqu'à un certain point dans la construction des ponts. Ce moyen est ce qu'on appelle *appareil à crossettes;* c'est-à-dire qu'au lieu de placer un joint vertical au-dessus de la rencontre de chaque assise horizontale avec le joint correspondant du cintre de tête, ce joint vertical est reculé, à droite ou à ganche, d'une certaine quantité, et la portion de l'assise horizontale qne ce reculement comprend fait partie du voussoir; c'est ce qn'on nomme *crossette*.

Dans les parties supérieures des voûtes, on rcjette l'appareil à crossettes, à cause des fractures qu'il occasionnerait lors du tassement inévitable des voûtes à grandes dimensions, après leur décintrement.

Les crossettes peuvent être employées sans inconvénient depuis les naissances jnsqu'à une certaine hanteur. On appelle *retombée* les voussoirs qui font ainsi partie de l'assise horizontale.

Pl. 32. Fig. 205. Les figures 205 des planches indiquent divers autres moyens adoptés pour raccorder les voussoirs avec les assises horizontales des piles et des tympans, et pour laisser aux voûtes des arehes la faculté d'opérer leur tassement, en évitant la fracture des pierres.

Le dérasement du lit supérieur de chaque voussoir, pour ces raccordements, ne peut être fait que sur place et après l'effet du tassement.

On n'effectue les raccordements en *manière de degrés*, que lorsque les voussoirs, par leur disposition, ont acquis une longueur de coupe suffisante. Il est d'ailleurs convenable à la solidité de n'enlever qu'à la moindre hauteur possible le système des retombées, afin de poser les voussoirs sur leur lit de carrière.

Le pont de Mantes présente un exemple de la difficulté de satisfaire à toutes les conditions auxquelles on doit avoir égard pour ce raccordement des voussoirs avec les assises horizontales. Le parti qu'on a pris offre une irrégularité frappante. Pl. 32. Fig. 206.

Au nouveau pont de la place Louis XV, où les avant et arrière-becs sont formés par des colonnes engagées, ce raccordement n'a pu avoir lieu ; la composition du projet s'y refusait. Les voussoirs ont obtenu la longueur de coupe qui leur était nécessaire, en se prolongeant au delà de la pénétration *apparente* : cette licence dans l'appareil a rendu les voussoirs indépendants des assises horizontales. Pl. 32. Fig. 207.

L'appareil des voûtes en portion de berceau ne commence qu'à leur imposte. Si la base du coussinet reposait sur l'imposte, elle formerait un angle aigu, et, de plus, trois arêtes visibles existeraient à la fois à ce point. Pour éviter ce défaut, on abaisse ordinairement le plan de l'assise inférieure du coussinet, en sorte que l'origine du cintre lui soit supérieure. Tel est le parti qu'on a pris au pont de Pesme, département du Doubs. Pl. 32. Fig. 208.

Un grand pont établi de niveau est une beauté généralement reconnue par les modernes. Cette disposition permet d'ailleurs l'emploi de quelques-unes des richesses de l'architecture, qui font toujours mauvais effet lorsque les ponts ne sont pas de niveau. Si l'on compare, sous ce point de vue, les ponts de Neuilly et celui de la place Louis XV, la vérité de ce principe sera évidente.

Lorsque, par des circonstances de localités, l'on est forcé de renoncer à un pavé de niveau suivant l'axe du pont, et d'établir la voie sur une seule pente d'une rive à l'autre, ou sur deux pentes, à partir de l'axe transversal de l'arche du milieu et en allant vers les culées, ces pentes ne doivent pas excéder $\frac{1}{24}$ de leur longueur. Alors aussi, comme pour les viaducs, on est obligé souvent soit de modifier les largeurs et montées des arches, soit de placer leurs naissances à diverses hauteurs, et de varier la forme des voûtes.

Plusieurs anciens ponts d'Italie et de France étaient couverts par des toitures comme les passages modernes des rues, et occupés par des boutiques et même des maisons d'habitation ; mais dans les ponts modernes, on y a renoncé, à cause de la surcharge qui en résultait, du défaut d'aérage, et parce que le coup d'œil y perdait beaucoup. Ponts en maçonnerie couverts. Pl. 32. Fig. 209.

Les têtes des ponts sont ordinairement couronnées par un cordon, composé d'un *tore*, d'un *filet* et d'un *cavet*. Ce couronnement est simple : c'est celui qui convient en général à l'architecture de ces ouvrages.

Quelquefois on emploie différents systèmes de corniches ; mais il faut les composer de *peu de membres* fortement prononcés. Les consoles, les modillons doivent être réservés pour les ponts placés dans les grandes villes.

Le caractère d'architecture des ponts est relatif aux circonstances de leur position : simple, sévère sur les routes ; hardi, riche et varié dans les cités.

Les détails des diverses parties doivent être assortis à ces différents genres.

Les bossages, les refends, les congélations, les pointes de diamant, tout ce qui tient au genre rustique convient, dans quelques circonstances, à l'architecture des ponts.

En général, c'est le style des monuments environnants et les localités qui déterminent celui d'un projet de pont.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGTIÈME LEÇON.

DES FONDATIONS DES PONTS EN MAÇONNERIE. — DES BATARDEAUX. — DES ÉPUISEMENTS. — DES CAISSONS FONCÉS ET NON FONCÉS. — DU TRAVAIL A L'AIDE DES CLOCHES A PLONGEURS ET DES SCAPHANDRES. — DES ENROCHEMENTS.

Conditions spéciales des fondations des ponts en maçonnerie.

On a vu précédemment, dans la leçon relative aux fondations en général, la classification des diverses natures de terrain, et les principes généraux sur cette importante matière.

Mais les fondations des ponts doivent satisfaire, de plus, à la condition spéciale de résister aux efforts des eaux et des corps flottants entraînés dans les crues ; en outre la présence permanente de l'eau, la continuité des besoins de la navigation, opposent souvent les plus grandes difficultés à l'adoption de tel ou tel système de fondation qui *aurait convenu sous d'autres rapports.*

Fondations sur les terrains de première classe.

Ainsi pour les terrains même de première classe, il est nécessaire d'engager les fondations des piles et culées dans des tranchées de plus de 1 mètre de profondeur, afin d'éviter que les eaux ne détruisent l'adhérence des fondations avec le terrain solide, et que l'approfondissement du sol, quoique très-lent, ne laisse plus tard les fondations à découvert. Les draguages et fouilles, pour la mise à nu du terrain solide, seront ici d'ailleurs bien plus difficiles et coûteux que dans les viaducs.

Pour la même espèce de terrain, il peut arriver que des fouilles ne soient, à raison de la présence des eaux, praticables qu'à l'aide de batardeaux d'enceinte et d'épuisement très-dispendieux, et que cette nécessité détermine à relever le plan des fondations des piles ou culées, et à les asseoir sur une base artificielle *qu'on eût évitée* dans la fondation d'un viaduc ou de toute autre fondation hors de l'eau.

Pl. 33. Fig. 210, 211, 212.

Cette base sera tantôt un massif en béton, comme au pont de Souillac (fig. 210 des planches), tantôt un pilotis avec enrochement, comme au pont de Saumur (fig. 211 des planches) ; quelquefois même il faudra les deux moyens réunis, lorsque, comme aux

nouveaux ponts de Rouen et de Sèvres, le plan de fondation sera très-élevé au-dessus du lit de la rivière, et que les couches *superficielles* de ce dernier seront snjettes à des affonillements dans l'intervalle des piles et des culées (fig. 212 des planches).

En effet, dans ce dernier cas, des pieux isolés pourraient ployer, et même rompre, soit sous la charge supérieure, soit par l'effet des glaces et débâcles ; la grande élévation du *centre de gravité de cette charge* exposerait les pieux à s'incliner particulièrement de l'amont à l'aval, dans ces circonstances accidentelles. D'ailleurs, des enrochements intercalaires aux pieux, n'y adhérant pas intimement, ne préviendraient qu'imparfaitement les effets ci-dessus; d'autant qne le lit du fleuve étant, *par hypothèse*, affouillable sur une certaine hauteur, les enrochements en s'affaissant ultérieurement s'éloigneraient des pieux.

Au nouveau pont de Bordeaux construit par M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Deschamps, et composé de 17 arches en maçonnerie, chacune de 23 mètres Pl. 35. Fig. 213
d'onverture moyenne, de 16 piles et deux culées, on s'est borné à des enrochements entre les pieux de fondation, avec *crèche* de ceinture pour chaque pile ou culée. La Garonne y présente de 6m,7 à 10 mètres de profondeur d'eau à basse mer, et au moment de la haute mer cette profondeur devient de 11 mètres à 15m,50 et plus. Les courants de marée montante et descendante y ont nne vitesse moyenne de plus de 3 mètres par seconde. Ils agissent sur un fond de sable et de vase molle très-facile à déplacer.

Les sondes faites annonçaient le terrain solide à 12 mètres et même à 16 mètres au-dessous des basses eaux.

Les fondations de chaque pile ont été assises sur 250 pieux de bois de pin des Pyrénées, recépés à 3m,75 au-dessous dn niveau des plus basses eaux. Des enrochements remplissent la distance verticale *complémentaire* du plan de recépage an fond du lit.

Mais la stabilité de ces *enrochements partiels a été assurée par un enrochement général d'une culée à l'autre*. Enfin, avant de procéder à la construction des arches, on a pris une mesure qui *devrait être toujours appliquée*, celle de charger chaque pile d'un poids d'essai supérieur de beaucoup à la charge permanente des arches réunie aux fardeaux éventuels, calcnlés à raison de 200 kilogrammes par mètre carré. Au pont de Bordeaux, cette charge a été de 4,000,000 de kilogrammes, et a consisté en une pyramide de blocs de pierres de taille et de pavés de grès.

Les enrochementa de fondation de ce pont enveloppés et agglntinés par la vase alluvionnaire ont, au bout de vingt années, présenté une masse parfaitement résistante.

Le système de fondation du pont de Bordeanx, comparé à celui du pont de Ronen, semble moins dispendieux ; mais dans certaines localités, l'abondance *relative* des matériaux qui entrent dans l'une et l'autre pourra renverser ces rapports.

On fait remarquer que, dans tous deux, un grand châssis de ceinture, immergé dès les premiers temps des travaux, a eu pour objet non-seulement de guider le

battage, mais aussi d'empêcher les pieux de se déverser soit sous la charge directe des enrochements et du béton, soit par le gonflement des couches molles du sol en contre-bas de cette charge.

Fondation des ponts sur les terrains de deuxième classe.

Les corrosions par l'eau seraient très-redoutables pour les terrains de deuxième classe; aussi, outre l'encaissement ordinaire en palplanches ou pieux jointifs qu'ils exigent, *sinon sur le pourtour de l'enceinte des fondations, au moins aux deux têtes du pont*, ils doivent être recouverts d'un radier général continu. Ce radier général sera construit, suivant les ressources des localités, en enrochements ou en fascinages par *plates-formes*, en substituant dans ce dernier cas, et autant que possible, des couches de libages à celles de gravier des plates-formes ordinaires.

Si le terrain, quoique résistant, était susceptible d'être amolli par l'eau, par exemple, s'il était argileux, il deviendrait nécessaire d'exécuter ces radiers généraux, soit en béton, soit en maçonnerie de libages et mortier hydraulique terminés par un pavage en moellons de champ.

Enfin si le cours d'eau était de nature torrentielle, et qu'il y eût un grand nombre de piles, surtout de *piles culées*, un *avant-radier* et un *arrière-radier*, en enrochements ou en fascinages, ou mixte, ne seraient pas surabondants. Ce sont ces moyens qui ont été employés avec succès, sur un fond de sable, à la construction des ponts de Moulins et de Roanne sur la Loire, à celle du pont de Saint-Amand sur Sèvres, et à différents ponts restaurés en Italie sous l'empire.

L'épaisseur du radier général au pont de Moulins est de $1^m,65$; ce radier repose sur une plate-forme en bois qui presse un corroi horizontal de terre glaise. Au pont de Roanne, le radier général a 1 mètre d'épaisseur, dont $0^m,68$ pour la première couche en béton, et $0^m,32$ pour la couche supérieure en dallages. Au pont de Saint-Amand, le radier général est une suite de voûtes renversées de $0^m,45$ de flèche sur $5^m,50$ environ de corde dont l'épaisseur à la clef est d'environ $0^m,50$. La couche en contact avec le terrain est en béton.

Pl. 33. Fig. 214.

Fondation des ponts sur les terrains de troisième classe.

Enfin pour les mauvais terrains de troisième classe, qui sont à la fois compressibles, susceptibles de corrosions et d'affouillements, il ne suffirait pas d'asseoir les fondations des piles sur de larges empatements avec pilotis de compression ou plates-formes de béton, et même de réunir ces deux moyens; il faudrait de plus :

1° Entourer l'enceinte de *chaque fondation* d'une crèche de palplanches ou pieux jointifs, pour que la compression du terrain par le battage des pieux se réalisât complétement.

2° Former un radier général entre les piles et après le draguage des couches superficielles les plus molles du lit de la rivière. Mais ce radier devant ici remplir le double objet de contre-tenir les poussées latérales, et de préserver des corrosions les fondations des piles et culées, devrait être nécessairement :

Soit une plate-forme bordée sur le grillage d'étrésillonnage mentionné à l'article *Viaducs*,

Soit un épais massif de béton,

Ou enfin une plate-forme en maçonnerie surmontée d'une voûte renversée d'une forte épaisseur à la clef.

3° Si la rivière était torrentielle, il faudrait y annexer de plus, et comme pour les terrains de deuxième classe, un arrière-radier en plate-forme de bois, en enrochements ou en plates-formes de fascinages.

On pourrait encore, au lieu d'*isoler en quelque sorte*, comme il vient d'être indiqué, la fondation de chaque pile du radier général, effectuer un draguage profond sur toute la largeur de la rivière ; battre ensuite les pieux de compression dans l'emplacement de chaque pile ; les recéper au niveau de la fouille, et recouvrir ensuite tout le lit de la rivière d'un épais massif de béton ou de maçonnerie ordinaire, qui servirait à répartir la charge du pont sur la surface du fond de la rivière. Le massif devrait évidemment présenter des surépaisseurs, faisant fonction de contre-forts dans les zones draguées dont la résistance serait la moindre.

Le choix entre les divers modes de fondation exige un grand nombre d'essais sur la résistance du terrain, d'observations sur le régime de la rivière et de ses effets sur le fond, et une étude approfondie d'une foule de questions techniques, financières, et même administratives. On trouvera plus bas quelques exemples dans des notes historiques sur des ponts anciens et modernes de grande dimension.

On va passer maintenant au mode d'exécution des divers systèmes de fondations exposés sommairement ci-dessus.

**Tracé pour l'exécution d'un pont en maçonnerie.**

La première opération est celle du tracé ; on commence par fixer les deux axes ou lignes magistrales, celle de la route et celle de la rivière. On repère la première par des pieux battus sur les bords de la rivière ou par des dés en maçonnerie : des pieux ou dés semblables servent à repérer des parallèles à cet axe et particulièrement celles qui correspondent aux têtes du pont.

Lorsque la largeur de la rivière a été mesurée par plusieurs opérations successives, soit directement, soit par les procédés trigonométriques, on en marque le milieu, à l'amont et à l'aval, par des pieux sur lesquels on grave la ligne milieu du thalweg : des pieux analogues servent à repérer les parallèles à cet axe, indicatives des axes et rives des piles et culées et du milieu des arches.

On part de ces lignes pour distribuer toutes les mesures partielles, soit horizontales, soit verticales.

Extérieurement au tracé et sur un point fixe et invariable, on arrête un repère pour les cotes de hauteur, peint en partie blanc, en partie noir. Il est placé ordinairement à l'étiage des eaux, qu'il indique par une ligne horizontale.

**Exécution de fondations des ponts en maçonnerie sur des rivières torrentielles ou avec marées.**

Lorsque le pont doit être élevé sur des rivières torrentielles presque à sec dans certaines saisons de l'année, ou sur des rivières à marées dont le lit découvre à marée basse soit quotidiennement dans les vives eaux, ces deux circonstances peuvent être fécondes en grandes économies dans les fondations.

Ainsi, dans le premier cas, en approvisionnant à l'avance tous les matériaux et les réunissant sur le lieu des travaux, en accumulant un grand nombre d'ouvriers et d'agents dans un temps donné, enfin en travaillant au besoin jour et nuit, on peut se mettre rapidement à l'abri d'une crue d'eau. Les ravages de celle-ci peuvent d'ailleurs être resserrés dans un champ étroit, en effectuant par parties certaines espèces d'ouvrages, et en les couvrant par des batardeaux *seulement submersibles*, dont l'enceinte serait vidée après le passage de la crue.

Dans le second cas, celui des rivières à marées, les ascensions alternatives et périodiques de l'eau peuvent être prévues. L'emploi de batardeaux submersibles enveloppant une enceinte plus ou moins étendue, suffira dans la plupart des cas pour asseoir le plan des fondations, soit sur pilotis battus au préalable, soit de toute autre manière. Mais il y aura à combiner, dans chaque localité, la capacité des enceintes, et la hauteur des batardeaux relativement au jeu des marées, à la marche et aux moyens d'épuisement de l'eau épanchée par-dessus ces batardeaux, et surtout relativement au personnel des ouvriers et aux approvisionnements de matériaux pour la pose.

Battages des pilotis de fondation d'un pont en maçonnerie.

Le battage des pilotis se fait généralement par les appareils ordinaires, posés sur des radeaux, bacs, chalands, chaloupes et autres embarcations, ou sur des plates-formes fixes d'échafaudage. Ces plates-formes sont d'ailleurs établies sur des pilotis à faux frais, battus par les sonnettes à flot; elles peuvent être submersibles ou insubmersibles aux hautes eaux, suivant la rapidité avec laquelle le battage doit être fait.

Le battage à flot des pilotis paraît moins dispendieux que celui sur plates-formes fixes; mais il ne se prête à aucune précision dans la mise en fiche des pieux, et il est entravé par toutes les crues et souvent par l'insuffisance des eaux à l'étiage. On lui préfère ordinairement le battage sur plates-formes; on a soin seulement de disposer les pieux d'échafaudage, non-seulement de manière qu'ils ne puissent pas entraver les opérations ultérieures, mais même de manière qu'ils y puissent concourir, en portant ultérieurement des échafaudages nécessaires aux versements de béton, pose des piles et des maçonneries de voûtes, etc., etc.

Pour assurer la régularité du battage, il est essentiel d'enfoncer d'abord les pieux directeurs d'alignement, c'est-à-dire ceux des changements d'alignement, et les premiers et derniers des files longitudinales et transversales, puis de les réunir à leurs têtes et à leurs pieds, le plus près possible du sol, par des coupes de ventrières amovibles ou à demeure, reliées avec les pieux directeurs par des boulons. C'est dans les coulisses ainsi formées par ces groupes de pièces à deux étages qu'on engage ensuite les pieux intercalaires, et ceux-ci ne peuvent plus alors dévier de leurs alignements. On a employé ces précautions aux fondations des nouveaux ponts de Rouen et de Bordeaux.

Pl. 33. Fig. 212 et 213.

L'on s'est servi, aux travaux du pont de Sainte-Maxence, de la force du courant pour le battage des pieux de fondation, en sorte qu'il n'y avait que trois hommes à chaque sonnette. Le même moteur y a été appliqué au levage des pierres par des grues. (Voir les *Œuvres de Peyronnet*.)

Le recépage des pieux se fait soit aux basses eaux, soit à l'aide de batardeaux submersibles quand la profondeur d'eau est peu considérable, par exemple au-dessous de 2 mètres. Pour des profondeurs plus grandes, on a recours aux machines à recéper sous l'eau. Recépage des pieux.

Il existe un assez grand nombre de ces machines; les unes sont décrites dans les ouvrages de Décessart et Gauthey, les autres dans la Ire collection lithographique de l'*École des ponts et chaussées*. La machine de M. Décessart peut fonctionner à 5 mètres sous l'eau, et quand elle est établie sur une plate-forme bien horizontale, elle peut enlever facilement sur un pieu déjà recépé une tranche horizontale de 4 millimètres d'épaisseur; mais on a remarqué que le surplomb de l'armature de la scie tendait à donner de l'inclinaison au plan de recépage; cette machine est d'ailleurs lourde, encombrante et compliquée. M. l'ingénieur Vauvilliers y a substitué, avec succès, aux travaux de fondation du nouveau pont de Bordeaux, un appareil à scie circulaire; mais le rayon de la scie devant être égal au diamètre du pieu, il peut en résulter quelques difficultés dans le recépage de très-gros pieux, car leur culasse, quand ils ont été battus par le petit bout, a quelquefois jusqu'à 60 centim. et même 1 mètre de diamètre. Pl. 34 et 35. Fig. 215. Pl. 35. Fig. 216.

Les draguages à faire avant l'établissement des fondations s'opèrent, si la profondeur d'eau est peu considérable, à l'aide de *louchets*, de *hollandaises*, et de petites cuillers à grands manches manœuvrées par deux ou quatre hommes; les produits sont jetés dans la barque même qui porte les ouvriers, ou dans une petite *marie-salope* qui la suit. Quelquefois ces cuillers sont manœuvrées par des treuils à manivelle fixés sur des pontons d'un tirant d'eau approprié; d'ailleurs, suivant la résistance du fond, on adapte à ces treuils des engrenages simples ou doubles. Draguages.

Pour des profondeurs de plus de 2 à 3 mètres, on a recours aux machines à curer. Tantôt ces machines ont pour objet seulement d'agiter et de pousser les couches molles du fond de l'amont vers l'aval, en les abandonnant au cours des eaux; tantôt pour les terrains plus résistants, les machines à la fois creusent le sol et rejettent les produits dans les cavités du fond, ou élèvent les déblais et les versent dans les maries-salopes. Quelquefois ces appareils sont établis sur des plates-formes d'échafaudage d'une hauteur variable, ou sur des embarcations. Dans l'un et l'autre cas, il faut qu'ils puissent fonctionner malgré les différences de hauteur entre le fond à draguer et la plate-forme qui supporte l'appareil. On trouvera plus de détails sur les machines à curer à la *Section de la navigation extérieure*, qui traite des ports. On renvoie d'ailleurs au 2e volume du traité de Gauthey sur la *Construction des ponts;* aux œuvres de Regemorte, aux articles insérés par les ingénieurs Bouvier, Magdelaine, Masquelez, Corne, Kermaingant, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, 1832, 1833, 1836, et enfin aux collections lithographiques de l'*École des ponts et chaussées*.

Lorsque le fond du lit d'une rivière doit être dressé régulièrement, soit pour le coulage d'un massif de béton, soit pour l'échouage des caissons dont il va être question ci-dessous, on peut atteindre ce but en enlevant les éminences au-dessus du plan de Régalage.

niveau qu'on veut obtenir, ou en rapportant du terrain additionnel pour remplir les creux; l'on a pris le plus souvent ce dernier parti. Aux foodations des écluses de chasse de Dieppe et du Tréport, on se servait de trémies remplies de galets, dont la description se trouve dans les œuvres de Décessart; mais M. l'ingénieur Magdelaiue, dans l'article déjà cité, et publié dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, donne la préférence au système de régalage, et décrit l'appareil qu'il a employé pour cet objet.

Pl. 55. Fig. 217.

Si le terrain doit être dragué sur une profondeur de plus de 1 mètre, et que son peu de consistance fasse craindre des éboulis dans les parois des fouilles, on bat, sur le pourtour, des groupes de pilotis bordés à faux frais, ou accompagnés de palplanches intermédiaires. Au pont de Saumur, on avait adossé, à ces pilotis de retenue, des rangées superposées de saucissons bourrés en gravier.

Pose des grillages de fondation des ponts en maçonnerie.

Les plates-formes ou grillages en bois, soit qu'il doivent reposer sur le terrain naturel régalé, ou sur des pilotis, peuvent être immergés et fixés sous l'eau sans batardeaux submersibles ou insubmersibles, lorsque la rivière n'a point une trop grande vitesse, et que la profondeur d'immersion n'est pas trop considérable. En effet, il suffit d'en assembler toutes les parties sur les rives du cours d'eau ou sur un radeau, de les mettre à flot, de les conduire à l'emplacement de la fondation, d'y engager *les têtes saillantes* d'uo certaio nombre de pieux de guide qui seraient recépés ou arrachés ultérieurement, puis de couler les grillages bien uniformément en les chargeant de poids en pierres ou fonte.

Si le grillage doit échouer sur un pilotis bien battu, on peut lier aux têtes des pieux les pièces du grillage en munissaot ces derniers de chevilles enfoncées à moitié avaot l'immersion, et qu'on achève d'enfoncer sous l'eau au moyeo de longues barres de fer, ou de pièces de bois dont la tête est hors de l'eau. Si l'on n'est pas sûr de la régularité du battage, on borde le dessus du grillage, sinon en madriers jointifs, au moins en madriers ayant au maximum 8 à 10 cent. de vides intercalaires.

Caissons non foncés pour fondations en béton.

Les massifs de béton circonscrits à l'enceinte des fondations d'une pile ou d'une culée de pont, sont formés souvent à l'aide de caissons flottants sans fond, que l'on construit à terre oo sur l'eau, qu'oo met à flot et qu'on fait échouer daos l'emplacemeot voulu. Les parois verticales ne se démontent pas; elles restent adhérentes à la maçonnerie de béton, qu'elles préservent ainsi, dans les premiers temps du coulage du béton, de l'action des eaux et du choc des corps flottants; mais ce moyen ne dispense pas toujours d'enrochements au pourtour extérieur des caissoos. Le versemeot du bétoo dans les caissons se fait d'ailleors par les procédés déjà indiqués pour ce genre de maçonneries. Ce système, depuis longtemps en usage en Italie, surtout pour les travaux maritimes de la Méditerraoée, a été employé, à plus de 5 mètres sous l'eau, à la fondation de la pile neuve du pont Notre-Dame de Cahors, par feu M. Sganzin, et M. l'iogénieur Vicat en a fait de nouveau usage pour les foodatioos du poot de Souillac. Il coovieot exclusivement sur un sol rocheux.

Pl. 55. Fig. 210

Mais, pour d'autres terrains, on peut lui substituer, avec économie, une rangée de pieux jointifs ou avec palplanches intercalaires, battus autour de la fondation. Ce dernier mode et d'ailleurs le seul applicable aux massifs de béton qui formeraient radiers entre les piles ou culées, et pour lesquels il serait impossible d'avoir une seule caisse. Les têtes des pieux et palplanches ci-dessus en dépassant le niveau des eaux, empêchent le courant de délaver et d'entraîner les couches de béton.

*Système de fondations par batardeaux et par caissons foncés.*

Pour établir, sous l'eau et au-dessous des plus basses eaux, les premières assises des fondations en maçonnerie ordinaire des piles ou culées, soit sur le terrain naturel préparé, soit sur un massif de béton, soit sur pilotis, trois moyens se présentent : 1° celui des batardeaux insubmersibles ou submersibles avec épuisement; 2° celui des caissons foncés qui dispensent d'épuisements; 3° celui de la cloche à plongeur.

On doit assimiler, du reste, au deuxième mode celui des bâtiments flottants ou embarcations remplis de maçonnerie ou d'enrochements, et coulés sur le fond, procédé qui a été employé pour les fondations des piles du Pont-Royal, à Paris, et pour celles de quelques ouvrages hydrauliques des ports de mer. (Voir les œuvres de Bélidor.)

Il n'y a point de préférence exclusive à donner à l'un de ces modes sur l'autre. Dans les rivières peu profondes, à régime régulier et vitesse modérée, où le fond, quoique pénétrable aux pieux et palplanches des batardeaux, leur donne cependant un appui latéral contre la poussée de l'eau, et n'abonde pas en voies d'eau latérales et de fond, les batardeaux seront généralement adoptés. Dans les autres circonstances, il faudra opter entre les caissons ou la cloche à plongeur; d'ailleurs, il convient de remarquer que, si l'on a plusieurs piles à fonder, les parois montantes des caissons, par un simple démontage, peuvent resservir en y ajoutant un nouveau fond, tandis que la démolition régulière d'un batardeau qu'on voudrait faire resservir coûterait quelquefois autant qu'un batardeau neuf.

La cloche à plongeur, qui n'avait d'abord été considérée que comme un appareil de visite et de recherche au fond de l'eau, susceptible tout au plus de suppléer avec avantage aux marins plongeurs, a été appliquée depuis à l'exécution d'un grand nombre d'ouvrages, et particulièrement de ceux qui, même *à ciel découvert, n'auraient pu admettre qu'un petit nombre d'ouvriers.* Travaux sous l'eau à l'aide de la cloche à plongeur et des scaphandres.

Ainsi, l'on y a recours sous l'eau pour forer et charger des mines, pour refendre des masses de rocher, réunir des pièces de charpente, les cheviller, régaler des enrochements, des massifs de béton, et pour exécuter des maçonneries de toute dénomination, etc., etc.

L'on sait que cet appareil, fondé sur la compressibilité de l'air et sur la tension avec laquelle il réagit, consiste en une cuve renversée, quadrangulaire ou arrondie, imperméable à l'eau du dehors et à l'air du dedans. Le renouvellement de ce dernier se fait

1° en expulsant l'air vicié par des tuyaux qui communiquent avec la surface de l'eau ou par une pompe aspirante; 2° en important de l'air frais par une chaîne sans fin de petits barillets ou par une pompe à air foulante.

La cloche à plongeur a été exécutée tantôt en bois cerclé avec de nombreuses armatures en fer, tantôt en fonte de fer. La cloche est supportée soit par une plate-forme d'échafaudage sur laquelle roule le treuil de suspension, soit par un système de *bigues*
Pl. 35 et 36 Fig. 218. (mâtereaux verticaux), appuyé sur un petit *ponton*. Les figures 218 des planches représentent diverses cloches à plongeur employées en Angleterre et dans les ports de Toulon et de Cherbourg. A Cherbourg, on a expérimenté que les mêmes ouvriers peuvent rester deux heures consécutives sous l'eau, et à une profondeur de 12 à 13 mètres, c'est-à-dire dans une masse d'air comprimé presque à la pression de deux atmosphères.

L'intérieur de la cloche est éclairé par des verres lenticulaires ménagés dans le dessus. Des signaux convenus établissent une correspondance entre les travailleurs sous la cloche et les hommes placés hors de l'eau; un signal spécial avertit quand il faut élever immédiatement l'appareil. Les dispositions prises jusqu'à ce jour, pour l'immersion et l'émersion de la cloche, sont encore très-imparfaites. Afin de diminuer la force motrice, on a employé des combinaisons d'engrenages et de poulies, qui portent presque à 15 minutes le temps de la montée sur 8 à 9 mètres de profondeur. Cela est évidemment beaucoup trop long. Un contre-poids beaucoup plus pesant que la cloche semblerait de beaucoup préférable; car la cloche ayant été émergée rapidemment pour le travail, les manœuvres *hors de l'eau* relèveraient ensuite le contre-poids à loisir. L'économie de force motrice est d'ailleurs illusoire, car les mouvements du ponton ou ceux du treuil de suspension de la cloche, dans le déplacement d'un point à l'autre, exigent déjà beaucoup de bras, indépendamment de ceux qu'emploient le bardage et la descente sous l'eau des matériaux à mettre en œuvre.

La pompe à air, si elle était employée seule, pourrait compromettre quelquefois l'existence des travailleurs; il sera donc convenable d'associer à cette machine le *chapelet* de *barillets* mentionné ci-dessus. Le prix élevé d'un appareil complet de cloche à plongeur (une cloche en fonte de fer avec sa pompe à air coûte seule 7,400 fr.), le petit nombre d'hommes qui peuvent y fonctionner, les gênes de toute espèce de ce mode de travail assez insalubre, en restreignent l'usage aux catégories d'ouvrages sous l'eau déjà mentionnées, et *encore dans l'hypothèse que l'on ne sera pas pressé par le temps.*

On ne s'est pas rendu d'ailleurs un compte exact des dépenses comparatives de ce mode de travail et de ceux par batardeaux et par caissons foncés.

On emploie aujourd'hui, aux États-Unis, pour le travail sous l'eau, des *scaphandres*
Pl. 37. Fig. 219. en caoutchouc et cloche en verre, dont les fig. 219 des planches donnent les indications. Le renouvellement de l'air se fait par tuyaux en communication avec une pompe à air hors de l'eau. Avec cet appareil, un ouvrier peut rester sous l'eau avec la faculté de marcher en tous sens, qu'il n'aurait pas sous une cloche à plongeur. Toutefois cette invention convient plutôt pour des visites et recherches sous l'eau que pour des travaux manuels.

Voici au reste les principaux détails relatifs aux deux autres modes de fondation.

Si l'économie réclame le moindre développement possible de batardeaux, elle se trouve souvent aussi dans la moindre capacité des surfaces des enceintes à épuiser et dans le fractionnement des chances d'avaries. Enfin, il faut se ménager les moyens d'installer les machines d'épuisement avec leurs appareils moteurs, et d'employer simultanément tous les ouvriers nécessaires dans l'enceinte abritée par les batardeaux. Système de fondation par batardeau avec épuisements

Ainsi, suivant l'ouverture des arches, la construction ou non des radiers intermédiaires entre les piles et les culées, il conviendra de faire tantôt des batardeaux partiels, tantôt des batardeaux comprenant, dans une même enceinte, deux ou un plus grand nombre de piles ou de culées; enfin d'avoir des parois de batardeau communes à plusieurs enceintes, avec des *moyens de communication facultatifs*. Les travaux du pont d'Orléans, décrits dans les œuvres de Peyronnet, présentent des exemples de bonnes dispositions locales de batardeaux.

*Des batardeaux.*

Les batardeaux peuvent être formés : de simples digues en terre; de digues en terre adossées à une paroi en bois; de simples parois en bois accorées à l'intérieur ou se soutenant les unes par les autres; ou enfin de coffres en bois remplis de terre. On peut aussi combiner ces derniers moyens, et établir, par exemple, des hausses en bois sur une digue en terre.

M. l'ingénieur en chef Beaudemoulin a fait sur l'emploi de la toile clouée à demeure, ou susceptible de se dérouler sur des panneaux, des essais desquels il résulte qu'elle peut résister à une charge d'eau de 1m,40 de hauteur, non-seulement sans rompre, mais sans être traversée par l'eau. Aussi cet ingénieur indique ce moyen comme applicable, soit pour arrêter les voies d'eau d'un batardeau avarié, soit pour établir un batardeau amovible en tout ou en partie, qui suivrait les variations des eaux extérieures, et réduirait ainsi au minimum la hauteur des épuisements. Batardeaux en toile.

L'épaisseur d'un batardeau en terre, ou digue, se calcule par des considérations analogues à celles qui ont été indiquées pour l'épaisseur des murs de soutènement d'eau, et de manière que la masse résiste au glissement et au pirouettement, non-seulement sous la charge de l'eau, mais *aussi sous son choc*. On est dans l'usage de donner aux digues une épaisseur moyenne égale à celle de la hauteur de l'eau; on voit que, par suite de l'espace qu'occupent les digues, leur emploi est limité aux petites profondeurs d'eau. Batardeaux en terre.

Si elles sont appuyées contre une paroi résistante en bois, leur épaisseur peut être réduite de beaucoup, et même à moins de 1 mètre, parce que la paroi en bois a pour objet alors de résister à la poussée et au choc de l'eau, et que la digue en terre n'a plus que celui d'arrêter les filtrations. Les parois en bois ont la forme de fermes équidistantes, réunies soit par des bordages horizontaux, soit par des ventrières haut et bas, contre lesquelles s'appuient des palplanches verticales jointives. Les fermes sont ordi-

Pl. 37. Fig. 220. nairement en deux pieux, dont l'un arase le niveau de l'eau, et l'autre reste au-dessus, et qui sont liés entre eux par des écharpes obliques.

Si les diverses parois d'un batardeau d'enceinte ne sont pas assez éloignées pour se prêter des secours, ou si elles sont voisines de parois fixes, on peut diminuer leur *résis-*
Pl. 37 et 38. Fig. 221. *tance individuelle*, en intercalant des étrésillonnages en bois, horizontaux ou obliques, d'une paroi à l'autre, de manière à équilibrer les poussées de l'eau. La force de ces étrésillonnages doit être calculée comme pour des pièces chargées de bout.

Batardeaux avec pieux jointifs à rainures et languettes.

Pour empêcher les filtrations d'eau et être dispensé des digues en terre, on a en recours, particulièrement dans les ports de mer, à des pieux équarris *jointifs à rainures et languettes*, qui, après la démolition d'un batardeau spécial, resservaient à d'autres, et avaient encore une valeur notable, même après l'exécution complète des travaux. Ce système, combiné avec des accorages obliques et des étrésillonnages intérieurs, a été
Pl. 38. Fig. 222. employé avec un grand succès pour la construction de l'écluse d'entrée des formes de *recouvrance* à Brest, les réparations des darses de Venise sous l'empire, et pour la construction de l'écluse de la nouvelle forme du port militaire de Lorient.

Batardeaux avec coffre.

Si chaque section d'un batardeau doit résister, par *elle-même*, à une grande charge d'eau et à des courants rapides qui délaveraient les terres d'une digue, on a recours aux batardeaux à coffre.

La charpente qui constitue le batardeau est formée d'une double file de pieux, espacés ordinairement de $1^m,30$ de milieu en milieu dans chaque file, et la distance entre les deux files dépend de l'épaisseur du batardeau. Après avoir lié les têtes des pieux de chaque file par des liernes ou ventrières placées à l'intérieur, on bat en dedans de ces ventrières des palplanches jointives. Comme la poussée des terres qui remplirait le coffrage tendrait à écarter ses deux parois, on les réunit souvent par le bas, à la hauteur de l'étiage, à l'aide de tirants en fer, dont le faible diamètre ne peut donner lieu aux filtrations qu'occasionneraient des pièces transversales en bois. On relie les ventrières insubmersibles de tête de chaque file, par des tirants analogues ou par des entretoises en bois qui s'y assemblent à *mi-bois* et à *mentonnet*.

Pl. 38. Fig. 223. La figure 223 des planches est le profil le plus ordinaire d'un batardeau et indique l'assemblage et la position des pièces élémentaires.

L'épaisseur des batardeaux à coffre pourra se déterminer en faisant entrer dans les calculs, à la fois, l'inertie de la terre de remplissage du coffre et la résistance à la rupture des pieux et palplanches; mais cette dernière dépend elle-même de la résistance latérale du terrain, qui varie entre des limites très-éloignées. On est dans l'usage de donner à un batardeau à coffrage *non accoré à l'intérieur*, une épaisseur égale à la hauteur d'eau à soutenir quand elle n'excède pas 3 mètres, et d'y ajouter $0^m,32$ pour chaque mètre de hauteur excédante. Ces dimensions seraient évidemment susceptibles de réduction, si le batardeau était rempli en béton au lieu de l'être en terre, et il est convenable de prendre ce dernier parti toutes les fois que le massif de béton pourra être ultérieurement *partie intégrante* du *système de fondation* et ne sera pas sujet à démolition.

Les batardeaux trop minces ont l'inconvénient de ne pouvoir pas servir comme chemins de service pour les travaux de fondation, et c'est cette considération particulièrement qui a fait établir la règle précédente.

Quand les batardeaux sont très-élevés, comme l'était celui de l'avant-port du nouveau port de Cherbourg, on les construit en gradins, ce qui concilie une grande largeur d'empatement, utile pour arrêter les filtrations, avec la réduction progressive du volume des terres de remplissage. D'ailleurs ces gradins deviennent autant de paliers pour les dépôts des matériaux et la circulation des ouvriers. Batardeaux à gradins. Pl. 38. Fig. 224.

Quel que soit le système de batardeau avec digue, celle-ci doit être encaissée, enracinée dans le sol par le draguage des couches molles superficielles, et il faut toujours enlever les graviers qui laisseraient passer l'eau au-dessous des corrois. Ces derniers se font avec la terre végétale ordinaire, ou avec de la glaise qu'on pilonne par couches minces sous l'eau, en ayant soin que les pilons *soient dentelés*, afin que les couches se lient entre elles. L'argile sablonneuse forme de très-bons corrois, et on peut lire, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, un article inséré par M. l'inspecteur divisionnaire Fèvre, annonçant que le sable fin a réussi parfaitement dans des batardeaux en terre qui soutenaient des charges d'eau de $2^m,50$. Au canal Saint-Martin on s'est servi, également avec succès, pour corrois, de terre sablonneuse mélangée avec $\frac{1}{12}$ ou $\frac{1}{15}$ de son volume de chaux ordinaire pâteuse.

MM. les ingénieurs Goury, L'hoste et Devilliers ont proposé, pour des profondeurs médiocres, un système de batardeaux amovibles ou facilement démontables, représenté dans les figures 225 des planches. Pl. 38. Fig. 225.

Il arrive fréquemment que, malgré l'imperméabilité des batardeaux et digues de soutènement d'eau, les appareils d'épuisement ne parviennent pas à étancher l'enceinte des travaux. La cause en est dans des *sources de fond* dont les eaux sourdent de bas en haut. Quand elles sont isolées, on parvient quelquefois à les étouffer avec des mottes de terre glaise mêlées à de l'étoupe, par des sacs de toile remplis de cette même matière, ou de chaux vive, ou de plâtres ciments. On les renferme souvent aussi dans une cuve en béton enveloppée d'un petit batardeau élevé jusqu'au niveau des eaux de la rivière. Mais dans les terrains homogènes et uniformément perméables par le fond, il n'y a d'autre ressource que celle d'un batardeau *horizontal* ou *de fond*, exécuté soit avec des plates-formes en bois, ou avec de grandes toiles goudronnées chargées d'une épaisse couche de 40 à 50 cent. de terre glaise ou de béton. Cette couche doit être toujours en béton, si le terrain perméable se trouve précisément sous l'emplacement des fondations à élever. Des épuisements.

Dans le choix des moyens d'épuisement, il entre une foule de considérations. Plus un appareil unique est puissant, plus son chômage en cas d'avaries est nuisible. L'intérêt de la dépense d'acquisition et d'installation est d'autant plus onéreux, que les travaux doivent avoir moins de durée. D'ailleurs, il est impossible de prévoir à l'avance la quantité d'eau qu'on aura à enlever dans un temps donné.

Il est donc préférable, en général, pour un épuisement temporaire, d'employer concurremment plusieurs appareils simples, qui se suppléent mutuellement en cas de chômage, qui soient d'une réparation facile et qu'on puisse multiplier au fur et à mesure des besoins. Ces appareils doivent être tels qu'ils fonctionnent malgré les *troubles* et les petits corps étrangers qui seraient mêlés à l'eau.

Enfin la dépense d'épuisement se compose du volume d'eau et de la hauteur à laquelle ce volume est élevé. Il est donc essentiel que les appareils versent l'eau à la *moindre hauteur que possible au-dessus du niveau variable des eaux extérieures.* Enfin le manque d'espace impose souvent la condition que les machines d'épuisement soient peu volumineuses et faciles à déplacer.

Machines d'épuisement.

Le baquetage avec des seaux et des pelles à la hollandaise ne convient guère qu'à de petites profondeurs, parce que, s'élevant par plusieurs étages de gradins, une grande partie de l'eau élevée retomberait dans la fouille. Ce moyen est le plus expéditif, le plus simple, mais il exige momentanément beaucoup de bras, dont on n'a pas toujours ensuite l'emploi quand l'épuisement est terminé.

La vis d'Archimède a beaucoup d'avantages pour les épuisements ordinaires à 3, 4 ou 5 mètres de profondeur; mais son inclinaison oblique est un empêchement dans beaucoup de circonstances.

Les chapelets verticaux exigent peu d'emplacement; leur produit est continu; mais ils sont sujets à de fréquentes avaries, et versent d'ailleurs toujours l'*eau à la même hauteur.*

Des comportes ou barriques mobiles autour de leurs anses ou d'axes de rotation qui les traversent, et élevées par des treuils sur échafaudages, ont été employées avec beaucoup de succès pour de grandes profondeurs; mais cet appareil est lent et encombrant.

Les roues à tympans, mues par des hommes ou par le courant lui-même, comme aux travaux du port d'Orléans (voir les œuvres de Peyronnet), sont d'une installation coûteuse, difficile, encombrante, et élèvent également l'eau à des hauteurs superflues.

Les pompes aspirantes ordinaires, manœuvrées par des brimbales ou par des cordelles à tiraudes, occupent peu d'espace, sont faciles à déplacer; mais leur produit est faible, si leurs garnitures, heuses et chopines ne sont pas métalliques; et dans ce dernier cas, elles sont endommagées par les sables, graviers et autres corps qui montent avec l'eau. D'ailleurs ces machines élèvent l'eau toujours au même niveau, à moins qu'on n'établisse l'évacuation par une communication entre les eaux extérieures et le point du tuyau de pompe qui est immédiatement au-dessus du terme de la course des *heuses mobiles;* mais cela n'est praticable que quand ces heuses mobiles *sont placées au-dessus des chopines fixes.*

Il est d'ailleurs possible d'appliquer divers moteurs aux appareils d'épuisement qu'on vient d'indiquer, tels que chevaux et bœufs, la force du courant lui-même, le vent, enfin les machines à feu fixes et *amovibles.* L'importance et surtout la durée des épui-

sements à faire, l'espace disponible pour les installations, et une foule de convenances locales doivent être prises en considération dans l'option à faire.

On trouve des détails sur les diverses machines d'épuisement dans les œuvres de Bélidor, de Peyronnet, de Régemorte, dans le tome II du *Traité de la construction des ponts* de Gauthey, dans la *Collection lithographique* de l'École des ponts et chaussées, dans le *Mémorial du génie*, enfin dans les ouvrages relatifs à l'exploitation des mines. Les figures 226 des planches représentent l'installation de siphons d'épuisement faite en 1801 et 1802 aux fortifications de Metz. Pl. 38 Fig. 226.

Le système de caissons foncés, employé pour la première fois en Angleterre par Labelye, au pont de Westminster (voir les œuvres de Bélidor), a été perfectionné en France, et on s'en est servi d'abord aux ponts de Saumur et de Tours, puis à la construction de la forme de radoub de Toulon, exécutée par le célèbre Groignard. Plus récemment, on en a fait usage aux fondations des ponts d'Austerlitz et d'Iéna et à celles des nouveaux ponts de Rouen et de Bordeaux. Les fig. 228 des planches indiquent les détails du caisson employé au pont d'Ivry par M. l'ingénieur Emmery. Des caissons foncés. Pl. 39. Fig. 227. Pl. 39. Fig. 228

On s'est servi aussi de ce mode de fondation pour des quais et des écluses de navigation, des écluses de chasse et autres dans les ports de mer. (Voir les œuvres de Décessart pour la construction des écluses de chasse du Tréport et de Dieppe.) Pl. 39. Fig. 229.

Un caisson est un ponton ou grand bateau plat, dont le fond est horizontal et composé soit de poutres jointives, soit de plusieurs plans de madriers croisés. Ses parois verticales sont formées par des châssis ou panneaux de madriers bien assemblés et calfatés, qui peuvent se démonter en se détachant du fond lorsqu'ils sont devenus inutiles. Ils y sont liés par des cordes ou courroies verticales, ou même par des tirants en fer verticaux dont le dévissage peut se faire au-dessus du niveau de l'eau. Des étrésillonnages amovibles transversaux et diagonaux en plan contre-tiennent la poussée de l'eau sur une des parois par celle qui s'exerce sur l'autre. On a quelquefois été forcé pour consolider le fond du caisson contre la poussée de l'eau, dans les premiers temps de la construction des maçonneries dans l'intérieur du caisson, d'arc-bouter ce fond temporairement contre les parois verticales, ou de le consolider par des assemblages triangulaires en bois ou en fer, qu'on enlevait au fur et à mesure de l'exhaussement partiel des maçonneries. Pl. 40. Fig. 230.

Pour rendre les épuisements plus faciles et pouvoir travailler par parties dans les caissons malgré les filtrations, on a quelquefois aussi pris la précaution de les diviser par des cloisons amovibles de séparation dans l'intérieur.

Le caisson est construit sur les rives comme une embarcation ordinaire et mis à l'eau ou à flot; ou bien il est élevé, comme pour la forme de Toulon, sur un grand radeau. Ce dernier moyen a l'avantage d'éviter les déliaisons et chances de filtration qui résultent de l'opération de la mise à l'eau. Pl. 40 Fig. 231.

Dans les ouvrages à la mer, on peut profiter des marées pour construire un caisson à sec et le faire flotter; c'est le parti que M. Décessart avait pris à Dieppe pour le

caisson de l'écluse de chasse, et ce qu'on avait voulu imiter à l'écluse de Froissy du canal de la Somme. Le caisson de Dieppe a été construit à l'abri d'une digue, dans un emplacement que n'atteignaient pas les hautes marées de morte eau, et qu'une tranchée dans la digue a mis en communication avec les dénivellations des marées de vive eau.

Pour la construction et la mise à l'eau des caissons des ponts d'Austerlitz et d'Iéna, Pl. 40. Fig. 231. on avait établi (fig. 231 des planches) des fermes de support et des coulisses de lancement. Le caisson placé en travers avait été construit sur une plate-forme horizontale formée par des chantiers; pour la mise à l'eau, on a enlevé ces chantiers en soulageant le caisson par des crics, et en le faisant descendre sur des coulisses en pente, sur lesquelles son poids le faisait ensuite cheminer vers l'eau.

Le caisson est conduit dans l'emplacement de la pile ou culée à construire, et là il est échoué immédiatement après que l'on s'est assuré qu'il n'y a aucun corps étranger arrêté sur le fond naturel, artificiel, ou dans le pilotis de fondation. On élève ensuite les maçonneries dans l'intérieur, et en enlevant, au fur et à mesure, un poids équivalent de la charge qui avait déterminé l'échouage.

Quelques constructeurs ont préféré laisser le caisson à flot pendant la durée des constructions, de manière qu'il n'échouât que sous le poids des maçonneries suffisamment élevées. Ce mode fatigue moins les parois du caisson, épargne des épuisements; mais il a l'inconvénient d'exposer cette vaste charpente à toutes les variations et perturbations dans le régime des eaux, surtout lors des crues et débâcles; et, ce qui est bien plus grave, si le caisson échoue mal, ou qu'il y ait quelques corps interposés entre lui et le fond au moment de l'échouage, tout le travail des maçonneries faites peut être en pure perte, tandis que quand le caisson est vide, on peut remédier aux vices de l'échouage avant d'entreprendre les maçonneries dans l'intérieur.

Pl. 40. Fig. 232. Lorsque des maçonneries exécutées dans des caissons différents doivent se lier pour ne former qu'une seule masse, on a eu recours à divers moyens : 1° on bat, *au droit de l'interruption*, des palplanches qui serrent autant que possible les parements des deux maçonneries à réunir; puis on verse du béton dans cette espèce de coffre jusqu'au niveau où l'on peut continuer l'appareil des assises; 2° on peut jeter, à ce dernier niveau, une petite voûte par-dessus le vide, en la faisant reposer sur les maçonneries riveraines; 3° on établit transversalement de petits batardeaux dans les deux caissons bout à bout; on réunit par des panneaux à faux frais la lacune verticale entre les parois montantes des deux caissons, et on épuise cette petite enceinte; 4° on a recours à la cloche à plongeur.

Lorsque le pilotis de fondation sur lequel le caisson foncé doit être échoué est garni d'enrochements ou de béton, il est quelquefois fort important que les eaux ne puissent couler entre le dessous du caisson et le dessus de l'enrochement ou le dessus du remplissage en béton intercalaire. On ne doit pas hésiter alors à recourir aux injections de mortier d'après le procédé de M. l'ingénieur Bérigny pour remplir le vide en question.

Le même parti sera pris *a fortiori* quand le caisson devra être échoué sur un massif de béton.

On trouve des détails sur les caissons dans les œuvres de Bélidor, de Décessart, dans la description de la forme de Toulon par Grognard, dans l'*Encyclopédie*, le *Traité de la construction des ponts* de Gauthey, tome II, la description des travaux du pont d'Ivry, la *Collection lithographique* de l'École des ponts et chaussées, et dans un article sur le caisson de fondation de l'écluse de Froissy (canal de la Somme), inséré par M. l'ingénieur Mary dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831.

Les radiers généraux en béton, entre les piles et les culées, exigent le draguage préalable des couches molles superficielles, et l'établissement, déjà indiqué, d'une rangée de pieux et palplanches en charpente, arrivant, au moins par le haut, au niveau où doit s'arrêter le massif, et dont le but est d'empêcher les eaux de délaver les couches superficielles du béton. Des radiers généraux.

Les radiers généraux en maçonnerie ne peuvent se faire qu'à l'aide de batardeaux submersibles ou insubmersibles. Ces radiers qui peuvent être, entre les deux têtes, parementés d'un simple pavé de moellons de champ, doivent présenter à chaque tête soit 1° une ligne de pierres de taille en très-gros blocs appareillés en plan, en voûte convexe vers l'axe du pont; 2° un encadrement de bois à compartiments, ayant pour longueur toute la largeur de l'arche et une largeur d'au moins $1^m,50$, et dont les cases seraient remplies en pavage de même espèce.

Les radiers généraux en fascinage s'exécutent par immersion et échonage, suivant les procédés détaillés dans les œuvres de Bélidor; dans la note déjà citée de feu M. Brisson, sur les digues de la Flandre hollandaise; enfin dans le mémoire sur les travaux du Rhin, publié par M. l'ingénieur en chef Desfontaines, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1833.

Les enrochements s'effectuent suivant les ressources des localités, soit avec des moellons de libage de diverses grosseur et dureté, soit avec les saucissons et paniers de gravier décrits dans la neuvième leçon, ou enfin avec des blocs factices en béton. Enrochements.

Gauthey a cherché à prouver, dans le tome II de la construction des ponts, que la forme de matériaux la plus avantageuse à la résistance contre les courants est celle d'une grande surface avec une faible hauteur; mais il est une autre considération dont il n'a pas tenu compte, c'est la résistance des matériaux à leur propre poids, au choc, à l'accumulation des autres matériaux superposés, dans la multitude des positions qu'ils peuvent affecter dans un grand enrochement. Or, des matériaux très-plats et minces rompraient bien plus tôt par ces dernières causes que des matériaux cubiques. De plus, sur un fond très-accidenté, ces mêmes matériaux jetés sous l'eau s'arrimeraient, s'entrelaceraient souvent moins bien, formeraient une masse moins solidaire que les blocs presque cubiques. Au reste, dans beaucoup de cas, le choix dépend bien plus des ressources locales que des considérations précédentes.

Gauthey a calculé la limite inférieure du poids des blocs d'enrochement relativement

aux vitesses *maximum des courants*, et aux pentes et talus extérieurs des enrochements. Il a trouvé que des blocs de $0^m,30$ dans le sens du courant, de $0^m,20$ dans le sens perpendiculaire au courant, et dont la pesanteur spécifique serait double de celle de l'eau, pourraient résister :

Sur un plan horizontal, à une vitesse d'eau d'environ 3 mètres par seconde.

Et sur un talus de 2 de base sur 1 de hauteur, à une vitesse seulement de $2^m,30$.

Pour d'autres vitesses avec les mêmes talus et mêmes pesanteurs spécifiques de matériaux, les dimensions des blocs s'obtiendraient par l'équation : $\frac{z^2}{x} = \frac{V^2}{2}$ sur un plan horizontal, et $\frac{z^2}{x} = \frac{V^2}{1,2}$ sur le talus de 2 de base pour 1 de hauteur; $z$ étant la dimension des blocs parallèle au courant, $x$ la dimension perpendiculaire; V la vitesse du courant par seconde.

Sur les rivières où la vitesse ordinaire est de $2^m,60$, l'expérience a fait construire des enrochements avec des pierres à peu près cubiques de 50 à 60 cent. de grosseur ; au pont Saint-Esprit, on a employé des blocs de 70 centim. pour une vitesse ordinaire de $2^m,60$ dans les eaux du Rhône ; mais cette vitesse s'élevait à $3^m,71$ à 4 mètres lors des crues. Gauthey, considérant $4^m,05$ par seconde comme une limite que la vitesse même des torrents les plus rapides dépasse rarement, pensait que des pierres, paniers ou blocs factices de $0^m,70$ de largeur sur $0^m,35$ de hauteur, et d'une épaisseur égale au moins à $0^m,35$ conviendraient à tous les enrochements de fleuves et rivières.

On verra, dans la dernière partie du résumé, que de pareils blocs seraient trop faibles dans les enrochements à la mer.

Lorsque le fond sur lequel on verse les libages d'enrochements est mou, il y gonfle sous le poids de ces blocs, en remplit les interstices, et fait ainsi les fonctions du mortier ordinaire.

Si le courant charrie des sables et graviers, il les dépose souvent dans les mêmes interstices des enrochements, qui deviennent à la longue des espèces de roches factices. Il sera donc convenable, dans les localités où ni le fond, ni les troubles de la rivière ne fourniront les éléments de ce *mortier naturel*, d'y suppléer en mêlant, dans la formation des enrochements, de menus matériaux anguleux avec les gros blocs; mais par crainte que les pierrailles ne soient, dans leur chute sous l'eau, entraînées par les courants et amoncelées à l'aval, il faudra d'abord, dans chaque couche, former avec les gros blocs des espèces de *compartiments sous l'eau de l'amont à l'aval*. Si l'enrochement est en blocs factices de béton, du béton ordinaire devrait évidemment être préféré aussi pour l'agglutinement de tous ces blocs.

Mais si le fond de la rivière était affouillable en amont ou en aval des enrochements, il faudrait prévenir les déliaisons qui pourraient en résulter, soit en enfonçant des enrochements entre des files de palplanches formant *coffrages ou crèches*, soit en les enracinant dans les fondations jusqu'à la profondeur où les affouillements pourraient

descendre, soit enfin en suivant les progrès de ces derniers, et remplissant les vides à mesure qu'ils se formeraient, par de nouveaux enrochements, par des paniers bourrés de gravier, ou par des fascinages.

Au pont de Bordeaux, on s'est servi de la cloche à plongeur pour régaler les enrochements et leur donner une assiette stable.

On a vu, du reste, dans la première partie, qu'on a suppléé, sur les rives du Rhin, à l'absence et au prix élevé des libages, par des paniers clayonnés bourrés de gravier.

Les ouvrages déjà cités et ceux de Pitrou, de Régemorte et Peyronnet donneront tous les détails nécessaires sur les échafaudages, machines et opérations du cintrement des ponts, de la pose des voûtes, du décintrement et des ouvrages complémentaires en maçonnerie.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGT ET UNIÈME LEÇON.

NOTICES HISTORIQUES SUR LES TRAVAUX DE DIVERS PONTS EN MAÇONNERIE ANCIENS ET MODERNES. — DÉPENSES DE CONSTRUCTION DE QUELQUES-UNS DE CES OUVRAGES. — VIADUCS ET PONTS FIXES EN BOIS. — VIADUCS ET PONTS FIXES EN FER.

### *Notices historiques sur les travaux de divers ponts en maçonnerie anciens et modernes.*

#### Ponts étrangers.

*Pont de Trajan sur le Danube*, construit en l'an 120 de l'ère chrétienne.

La rapidité et la profondeur des eaux du Danube, la nature affouillable du fond avaient fait établir les piles du pont sur un radier général. Le radier avait été formé avec de grands bateaux chargés pêle-mêle de pierres, chaux et sable et qu'on avait fait échouer sur le fond. Des sacs de toute grosseur, remplis des mêmes matériaux, avaient servi à garnir les intervalles et à établir des espèces de jetées autour des piles.

*Pont de la Trinité sur l'Arno, à Florence*, bâti en 1570.

Les fondations de ce pont avaient été assises sur un radier général bordé et appuyé sur plusieurs piles de pieux. Un affouillement considérable qui s'était manifesté en 1811, par suite de la composition sablonneuse du fond, a été réparé par M. l'ingénieur en chef Goury. (Voir les *Souvenirs polytechniques* de cet ingénieur.)

*Pont de la Carraya sur l'Arno, à Florence*, fondé en 1345, sur pilotis avec un radier général en maçonnerie, sur un terrain sablonneux.

*Pont d'Alexandrie sur le Tanaro*, exécuté antérieurement à 1487.

On avait établi, sous l'empire, des radiers en maçonnerie entre les piles et culées des ponts, afin de pouvoir y élever, à l'aide de piles nouvelles intercalaires, un barrage mobile à poutrelles, destiné à soutenir et à faire déverser les eaux du Tanaro dans les fossés de la citadelle.

*Pont de Carvo*, établi en 1300 à 1400 *sur le torrent de la Melza*.

Ce torrent roule sur un très-mauvais fond. On a établi, à 2 mètres en contre-bas des eaux moyennes, un radier général en enrochement, dont les têtes ont été formées de gros blocs cramponnés et soutenus en aval par plusieurs files de pieux. L'assiette des piles se compose de quatre assises en hauteur, étagées en retraite les unes sur les autres, également en gros blocs cramponnés de 4 à 5 mètres de longueur.

*Vieux pont de Londres*, édifié *sur la Tamise* en 1176.

Le trop faible débouché des arches et la grande épaisseur des piles (elles avaient près de 6 mètres) rendaient fort difficile le passage des crues d'eau, et déterminaient une sorte de cataracte de $1^m,50$ de chute sur la longueur des piles.

*Pont de Westminster sur la Tamise*, exécuté en 1750.

Ce pont a été le premier ouvrage fondé sur caissons *foncés*. Ces caissons ouvrés en sapin avaient été échoués sur un sol naturel en pierres, cailloux, gravier, dragué dans l'emplacement de chaque pile à 2 mètres en contre-bas de l'étiage. Chaque fondation isolée de pile et culée avait été d'ailleurs entourée d'une crèche de pieux battus au déclic par une sonnette à manége. Après l'achèvement du pont, un nouveau draguage, qui avait été trop approfondi près de l'une des piles, fit couler le sable du terrain qui était sous le fond du caisson, et la pile tassa de 30 cent. On recintra et on démolit immédiatement les arches voisines; la pile fut chargée d'un poids considérable d'épreuve qui produisit un deuxième tassement définitif de 13 à 14 centim. dans le premier mois. On reconstruit les arches démolies, en ayant soin d'élégir les reins par des arceaux appuyés sur les voûtes. L'opération eut un succès complet.

*Pont d'Essex*, construit *sur la Liffey* en 1753, *à Dublin en Irlande*.

Ce pont a été fondé sur pilotis enfoncé jusqu'au rocher. La couche d'argile superposée à ce rocher a été garantie contre la corrosion par un radier général.

*Pont de Blackfriars sur la Tamise*, construit en 1780, sur les projets du célèbre Smeaton.

Ce pont avait été fondé sur un sol de gravier, en partie par batardeaux avec épuisements, en partie par caissons foncés. Quelques piles étaient entourées d'enrochements enveloppés eux-mêmes par des palplanches. Néanmoins le pont fut affouillé et renversé par une crue extraordinaire, pendant laquelle la différence du niveau des eaux, aux deux têtes amont et aval du pont, avait été de $1^m,20$ à $1^m,50$.

*Ponts de Cold-Stream sur la Tweed, et de Perth sur le Tay*, construits en 1766 et 1771, également sur les projets de Smeaton.

Le fond de ces rivières était du gravier compacte. Les piles ont été assises sur pilotis

avec enrochements intercalaires, mais sans plate-forme de grillage intermédiaire entre la première assise de maçonnerie et le dessus des pieux et enrochements. Une crèche de palplanches entoure chaque fondation isolée.

*Pont de Ratisbonne sur le Danube*, exécuté avant 1200.

Les piles et culées sont fondées par pilotis sur un terrain graveleux; mais chacune est enveloppée d'une crèche de palplanches jointives, et défendue par des épis fort larges en coffrages de bois remplis d'enrochements.

### Ponts en France.

*Pont du Saint-Esprit*, construit en 1285 sur le Rhône.

Les piles-culées de ce pont ont une épaisseur énorme, le tiers de l'ouverture des arches, et cette épaisseur est encore renforcée par de larges empatements. On présume que ces piles sont fondées sur enrochements entourés de crèches à 3 mètres de distance des parements, et qui s'élèvent à plus de 2 mètres *au-dessus* de l'étiage. Ces crèches présentent sur tout leur périmètre un double entourage de blocs de plus de 2 mètres de longueur; ce genre de fondation est encore consolidé par des épis qu'on entretient avec le plus grand soin. Le talus de ces épis est de 1 ½ de base pour 1 de hauteur, et il en résulte une nouvelle réduction dans le débouché, qui, dans les crues, détermine de véritables cataractes.

*Pont de la Vieille-Brioude*, élevé en 1454 sur l'Allier.

Ce pont avait éprouvé successivement deux sortes d'avaries : 1° les voûtes de 22 mètres d'ouverture surbaissées au tiers, bâties en *matériaux tendres*, s'étaient écroulées immédiatement après avoir été décintrées; 2° les fondations sur gravier compacte furent affouillées et le pont fut emporté dans une crue, bien qu'on eût battu en aval un coffrage de pieux dont on avait d'abord dragué l'intérieur et qu'on avait ensuite rempli d'enrochements.

*Pont Royal ou des Tuileries*, construit sur la Seine en 1690, sur les dessins du célèbre Mansart.

La première pile du côté des Tuileries se trouvant sur un mauvais terrain, a été fondée de la manière suivante : le terrain, après avoir été dragué et aplani, a reçu par échouage la charge d'un grand bateau *marnais* rempli de matériaux. Le bateau échoué a été entouré d'une crèche de pieux et d'une digue en enrochements. On a construit ensuite une espèce de grande caisse renfermant des assises de pierres cramponnées et attenantes à ses parois. Après que cette caisse a été immergée, on a rempli les vides qui y restaient avec des moellons et du mortier hydraulique de pouzzolane. La fondation a été finalement chargée pendant six mois d'un poids d'épreuve supérieur de beaucoup à la charge permanente du pont, et comme sous ce poids il ne s'était manifesté qu'un tassement de 2m,07, on a élevé avec confiance la pile et les arches attenantes.

*Pont d'Orléans sur la Loire*, terminé par Peyronnet en 1763.

Les arches ont 30 mètres d'ouverture moyenne. Les piles ont été fondées par batardeaux avec épuisements, sur plates-formes de grillage sur pilotis. La conche supérieure du fond était du sable graveleux sur 3 à 4 mètres de hauteur. Elle recouvrait des couches irrégulières de marne et de tuf. La perméabilité d'un pareil fond avait rendu les épuisements très-onéreux. Le battage d'ailleurs avait manifesté de grandes anomalies dans la profondenr de fiche des pieux; aussi il y eut un tassement dans quelques piles après la construction; on prit le parti fort sage de charger chacune de ces piles d'un poids d'épreuve de 639 tonn. en sus de celui des voûtes. Cette charge maintenue pendant cinq mois produisit un affaissement total de $0^m,50$; de plus, on élégit les reins au-dessus des piles par des voûtes dont on cacha les ouvertures dans les deux têtes du pont.

Des affouillements s'étant manifestés postérieurement, on y obvia en battant en aval, sur toute la longueur du pont, deux files de pieux espacées de 4 mètres et recépées sous l'étiage. L'intervalle des deux files fut garni en enrochements. Les pieux sont presqne jointifs dans chaque file.

*Pont biais de Trelport sur la Marne*, bâti en 1760 par l'ingénieur Chezy.

Les piles de ce pont, qui n'avaient que $2^m,27$ d'épaisseur, se sont renversées en 1815, qnand on a fait sauter l'arche du milieu, et sous l'effort des arches latérales qui étaient en anse de panier de $23^m,40$ d'ouverture. Les piles étaient dn reste fondées sur plates-formes de grillage et pilotis, à l'aide de batardeaux avec épuisements.

*Pont de Saumur sur la Loire*, terminé par Décessart en 1764.

Ce pont a été fondé par caissons foncés sur pilotis dans nn terrain de gravier. On avait dragué le sable dans l'emplacement de chaque pile et culée, et on l'avait remplacé par des enrochements avant l'échouage des caissons. La surface supérieure de ces enrochements avait été tenue à 16 centimètres au-dessous du plan de recépage. Des crèches d'enrocbements et de fascinages entouraient d'aillenrs chaque pile.

*Pont de Tours sur la Loire*, exécuté par Bayenx, en 1755.

Ce pont a été fondé sur pilotis, en partie par caissons foncés, en partie par batardeanx avec épnisements. Le fond de la rivière est, à Tonrs, un banc de sable de 2 à 3 mètres d'épaisseur, sous lequel se trouve un tuf solide. Dans ce pont, dont quelques voûtes éprouvent *aujourd'hui même* de nouveaux tassements dans les zones vers la rive droite, il y avait eu déjà des écronlements d'arches sous l'empire, et antérienrement, par suite d'affouillements dans les piles. Les glaces d'une débâcle avaient formé à l'amont une espèce de barrage sous lcqnel les eaux avaient pris une grande vitesse vers la rive droite. Il en était résnlté qne les pieux dégarnis de sable sur une partie de leur fiche s'étaient affaissés; on avait éprouvé beaucoup de difficultés à déblayer les décombres et à enlever les plates-formes des anciens caissons. Le battage de nouveaux pieux, un radier général intermédiaire aux piles qui avaient été affouillées, les ont préservées de nouveaux dommages; mais malheureusement on n'a pas étendu ce radier à toutes

les arches du pont, et les mêmes causes produisent probablement dans celles-ci les mêmes effets.

*Pont de Moulins sur l'Allier*, exécuté en 1764 par l'ingénieur Régemorte.

Dans l'espace de 35 années, trois ponts élevés dans l'emplacement du pont actuel avaient été emportés par le double défaut d'un débouché beaucoup trop étroit, et d'un système de fondation mal approprié. Le fond du lit était un banc de gros sable presque impénétrable aux pilotis, mais susceptible de s'affouiller de 5 mètres de profondeur dans une seule crue. Régemorte établit un radier général de $1^m,65$ d'épaisseur, et de 34 mètres de largeur de l'amont à l'aval, dont le dessus est à 1 mètre en contre-bas de l'étiage; et ce mode de fondation, qui a nécessité l'emploi de batardeaux avec épuisements, a parfaitement réussi.

*Pont de Dôle*, établi en 1764 *sur le Doubs*.

Malgré un faux radier en aval, et des enrochements intercalaires aux pieux des piles, malgré le recépage de ces pieux à deux mètres sous l'étiage, des affouillements ont eu lieu à deux piles et ont entraîné la chute des arches latérales.

*Pont de Mantes sur la Seine*, achevé par Peyronnet en 1765.

La construction des voûtes des trois arches de ce pont a donné lieu à des incidents fâcheux. On l'avait commencée par l'une des arches de rive, et la voûte était presque entièrement terminée sur cintre retroussé, alors qu'il n'y avait encore que dix cours de voussoirs à l'arche du milieu. Il en résulta une inégalité de poussée qui fit marcher de $0^m,12$ et déverser légèrement la pile intermédiaire; on activa jour et nuit la pose des claveaux de l'arche du milieu; mais pour que la deuxième pile de l'autre rive n'éprouvât pas à son tour un mouvement du même genre, on maintint par des tirants en bois l'écartement des cintres de l'arche du milieu, et cette précaution suffit.

*Pont de Neuilly sur la Seine*, exécuté par Peyronnet en 1774.

Ce pont est fondé sur plate-forme et pilotis, à $2^m,30$ sous l'étiage, par batardeaux avec épuisements. Le débouché en est trop considérable, et par suite il se forme des atterrissements irréguliers, à l'amont, sous les arches, et en aval.

*Pont Fouchard sur le Thoué, à Saumur*, achevé par l'ingénieur de Limay en 1782.

Les voûtes de ce pont sont en arc de cercle de 26 mètres d'ouverture sur $2^m,60$ de flèche; elles avaient été surhaussées de $0^m,35$ dans la pose et étaient restées un an sur leurs cintres. A la fin de l'année, le tassement était de $0^m,10$; quarante jours après le décintrement, le tassement était de $0^m17$. Les parapets et le pavage de la voie du pont ayant été posés subséquemment, il est survenu de nouveaux tassements qui ont donné aux parapets une légère courbure; elle était de $0^m,046$ sur 24 mètres, vingt ans après la construction.

*Pont de Chavannes sur la Saône, à Châlons*, construit par Gauthey en 1787.

Ce pont, dont les arches ont 13 mètres d'ouverture, a été élevé sur un radier général en maçonnerie, de 1 mètre d'épaisseur et de 16 mètres de largeur de l'amont à l'aval; le

dessus a été tenu à 1 mètre en contre-bas de l'étiage. Le lit de la rivière était en gros gravier presque impénétrable aux pieux, et cependant affouillable.

*Pont de Frouard sur la Moselle*, exécuté en 1788 par M. l'ingénieur Lecreux.

Les piles et les culées ont été fondées par batardeaux avec épuisements à 2 mètres sous l'étiage, sur un grillage bordé, assis lui-même directement sur un fond de gravier très-solide. Chaque fondation isolée a été défendue contre les affouillements par une crèche de pieux jointifs.

*Pont de Maligny sur le Serain*, exécuté en 1788 par l'ingénieur Verbruge.

Il est formé d'une seule arche en arc de cercle à grande flèche de 26 mètres d'ouverture. La voûte a été formée de moellons de 8 à 10 centim. d'épaisseur, et de $0^m,25$ à $0^m,30$ de queue, taillés et appareillés comme la pierre de taille, d'où est résulté un déchet considérable de matériaux. Pour empêcher les cintres de se soulever au sommet pendant la construction de la voûte, et être dispensé de charger celle-ci temporairement, on avait commencé sur différents points et fermé par trois *clefs*.

Le décintrement a été effectué au bout de quinze jours, et il s'est manifesté alors un écartement tout à fait anomal entre les têtes d'amont et d'aval. Chacune a pris *en plan* une flèche de courbure de $0^m,16$ sur l'ouverture totale de 26 mètres.

*Pont de Roanne sur la Loire*, terminé sous l'empire, a été fondé comme celui de Moulins.

*Pont d'Iéna sur la Seine*, terminé en 1811 par M. Lamaudé.

On sait que la voie de ce pont est de niveau. Il a été fondé par caissons sur pilotis recépés à $1^m,75$ au-dessous de l'étiage.

*Pont de Sèvres sur la Seine*, terminé en 1820 par M. l'ingénieur Vigoureux.

Les piles de ce pont ont été fondées également par caissons sur pilotis, chaque pieu supportait 53 tonn.; les intervalles des pieux depuis le sol jusqu'au plan de recépage n'avaient été remplis que d'un béton peu hydraulique. On a attribué, en partie, à cette circonstance des tassements de $0^m,07$ remarqués dans quelques piles, à la suite de l'explosion qui, en 1815, fit sauter deux arches; toutefois la sixième pile, chargée en 1818 d'un poids supplémentaire de 114 tonn., n'a éprouvé aucun nouveau tassement. On n'en a pas moins élégi tous les reins des voûtes, de manière à réduire d'un dixième la charge permanente sur les pieux.

On a déjà décrit précédemment les systèmes de fondation des ponts de Rouen, Bordeaux et Libourne. On se bornera à ajouter ici, pour les deux derniers, que la pierre de taille et la brique y ont été employées concurremment de manière à former des compartiments ou caissons garnis en briques et encadrés par les pierres.

La chaussée des mêmes ponts est formée d'arceaux en briques portant une maçonnerie de cailloux à bain de mortier hydraulique, recouverte elle-même d'une couche de cailloux brisés.

**Ponts récemment terminés.**

*Pont de Givet sur la Meuse*, terminé en 1818 par M. l'ingénieur Husson.

Ce pont est composé de cinq arches en anse de panier, d'environ $20^m,50$ d'ouverture sur $6^m,82$ de flèche, avec piles de 4 mètres d'épaisseur. Ces piles ont été fondées par caissons foncés, sur un pilotis recépé à $1^m,50$ en contre-bas de l'étiage, et à 2 mètres au-dessus du fond. Les intervalles des pieux ont été, après un draguage préalable, remplis de bétonnage comme au pont de Rouen; ce massif était enveloppé par une crèche de pieux et palplanches protégée elle-même par des enrochements extérieurs.

Le fond de la rivière était du sable graveleux, et pour empêcher les parois du tour des fouilles du draguage de s'ébouler, on les avait soutenues temporairement, et avant l'immersion des enrochements, par des fascinages en *saucissons bourrés de graviers.*

*Pont de Saint-Amand sur Sèvres*, terminé avant 1820 par M. l'ingénieur Thénard.

Ce pont se compose de 5 arches en plein cintre, d'environ 5 mètres d'ouverture; les piles de $1^m,25$ d'épaisseur ont été assises directement sur un sol graveleux. Mais des radiers en pierres de taille, appareillés en voûte renversée, s'étendent d'une pile à l'autre. Un énorme affouillement à l'aval de 7 mètres de profondeur sur 39 mètres de longueur à l'amont et à l'aval, avait déterminé la chute d'un ancien pont dans le même emplacement, et opposait de grandes difficultés à l'assiette du nouveau. On le combla avec les déblais et plâtras de l'ancien pont, en guise d'enrochements, et on recouvrit le remblai sur $9^m,20$ de longueur de l'amont à l'aval, et sur toute la largeur de la rivière, d'un avant-radier en piquets clayonné, dont les cases furent remplies en pavage maçonné. La tête aval de cette plate-forme, ainsi faite, fut en outre défendue par un enrochement.

Enfin, à l'amont, les têtes des radiers intercalaires aux piles furent disposées en plan, suivant les arcs de cercle, garantis à l'amont par un clayonnage avec enrochement.

*Pont de Mélisey sur l'Ognon* (Haute-Saône), exécuté avant 1823 par M. l'ingénieur Lacordaire.

Ce pont est formé de trois arches en arc de cercle de $11^m,20$ d'ouverture. Les piles et culées, de $2^m,80$ et $5^m,10$ d'épaisseur moyenne, ont été fondées sur des couches d'empatement en béton de $0^m,75$ d'épaisseur, posées sur le sol graveleux et entourées de crèches de palplanches et pieux. Comme l'Ognon est une rivière torrentielle, on a exécuté, mais à l'aval seulement et immédiatement après les têtes des piles de ce côté, une zone d'arrière-radier générale en pavage maçonné de $3^m,50$ de largeur, comprise entre deux files de pieux et palplanches. Cet arrière-radier repose aussi sur une couche de béton de $0^m,50$ d'épaisseur, qui se lie à celle d'empatement des piles et culées. Cette couche présente en dessous une espèce de renfort ou nervure de $1^m,40$ de largeur et profondeur, qui s'enfonce dans le sol sur toute la largeur de la rivière en aval du pont.

*Pont de Saint-Girons sur le Salat* (Ariége), exécuté avant 1820 par M. l'ingénieur.....

Co pont do 3 arches en arc de cercle, chacune de 14 mètres d'ouverture avec piles de 2 mètres et culées de 6 mètres d'épaisseur, a été fondé directement sur le rocher. Comme les crues ordinaires ne s'élevaient qu'à $0^m,60$ au-dessus du niveau ordinaire des eaux, on a fait usage avec grande économie pour les fondations de batardeaux *amovibles*, dont les parois, découpées par feuilles, s'assemblaient sur des semelles *traînantes*, fixées temporairement sur le sol. La même charpente de batardeaux a pu servir ainsi successivement pour deux piles et deux culées.

*Pont de Montrejeau sur la Garonne*, exécuté avant 1823 par M. l'ingénieur Eudel.

Ce pont a été établi sur un fond graveleux et en un point du fleuve où les crues s'élèvent de 3 mètres au-dessus de l'étiage. Il se compose de 5 arches en arc de cercle de 12 mètres de largeur, et il a, en outre, sur les rives, deux arches marinières de 5 mètres de largeur. Les piles et culées ont été fondées par batardeaux sur des pilotis, dont les intervalles ont été remplis en béton. Ce dernier est lui-même soutenu par uno crèche de pieux et palplanches.

*Pont de Souillac sur la Dordogne*, exécuté par M. l'ingénieur Vicat.

Co pont a 7 arches de 22 mètres d'ouverture sur $8^m,33$ de montée; l'épaisseur uniforme de l'intrados à l'extrados est de $1^m,20$. La Dordogne, à Souillac, est une rivière torrentielle, sans aucun régime régulier; les crues s'élèvent à 5 et 6 mètres au-dessus de l'étiage, ot alors la vitesse à la surface, dans le thalweg, est de 5 à 6 mètres par seconde. L'eau corrode aussi alors jusqu'aux aspérités du rocher, et met en mouvement les gros cailloux, provenant des corrosions antérieures.

Le fond du lit présente des nappes *tabulaires* et isolées de rocher, dont les intervallos jusqu'à 7 mètres de profondeur sont remplis do sable, gravier et cailloux mélangés dans une foule de proportions. L'impossibilité de faire des épuisements de batardeaux, dans un roc criblé de trous et de fissures, les difficultés d'y faire tenir des pieux déterminèrent à adopter pour essai le système de fondation des piles sur massifs de béton, à l'aide de caissons *non foncés*, et d'une enveloppe de défense en enrochements.

Les caissons furent composés de pieux jointifs sabotés en fer. Le draguage préalable à l'immersion du béton fut très-difficile, à cause de l'irrégularité des reliefs du rocher, sous les terrains d'alluvions et de détritus.

Après avoir dénudé les parties saillantes du rocher, il restait à procurer uno résistance à peu près uniforme aux intervalles qui les séparaient, et dont il n'eût pas été possible de retirer le gravier et le sable.

M. l'ingénieur Vicat ayant remarqué que si un mélange de cailloux et de gravier était soumis à la percussion, les particules arrondies s'échappaient, et que cet inconvénient cessait quand on interposait des matières de dureté moyenne, à fragments anguleux, tels que le calcaire, recouvrit d'une couche de moellons de cette espèce et de $0^m,20$ à $0^m,30$ d'épaisseur, les lacunes entre les pointes de rocher; puis il fit battro successive-

ment toutes les zones par un mouton du poids de 650 kilogr. Le massif en béton de la fondation de chaque pile avait $6^{m}$,20 d'épaisseur, 4 mètres de hauteur et 15 mètres de longueur moyenne. On le chargea, dix mois après l'immersion, d'un poids d'épreuve de 2500 tonnes, égal à celui d'une pile et d'une arche. Il n'en résulta qu'nn tassement de $0^{m}$,05. Un antre massif, âgé seulement de huit mois, tassa sous le même poids de $0^{m}$,024. Le poids d'épreuve consistait, au reste, en sable, gravier et cailloux tirés du fond de la rivière et contenus dans de grandes caisses.

Il arriva à l'une des piles, probablement par inégalité do résistance dans le fond, qu'au moment où la charge d'épreuve était aux 2/3 ou à 1700 tonnes, le massif de béton âgé de dix mois s'inclina de l'amont à l'aval, en tournant tout d'une pièce comme autour d'nn axe horizontal qui eût été situé au tiers aval de la longueur dn massif. On ne put douter que l'*arrière-bec* de ce massif ne fût en suspens et détaché du fond.

Le poids d'épreuve ayant été augmenté, le béton se rompit en deux blocs; le plus petit à l'aval reprit son assiette; celui d'amont, devenu libre, s'abaissa de $0^{m}$,015 vers le point de fracture, et de $0^{m}$,166 à son extrémité amont. Ainsi divisé, le massif porta pendant huit mois un poids d'épreuve de 2554 tonnes, sans tassements ultérieurs.

Il fut décidé, pour remédier à cet accident, 1° qn'on souderait les deux blocs, en refoulant du béton dans le joint de fracture; 2° qu'on encastrerait, dans la première assise inférieure de la pile, une ceinture de fer forgé de $0^{m}$,06 en carré, pour suppléer à l'insuffisance possible de la soudure en béton; 3° qu'on réduirait la charge permanente en élégissant les reins correspondants des deux demi-arches correspondantes.

M. Vicat a remarqué, dans les voûtes de ce même pont, des mouvements périodiques qu'il a attribués à des différences de dilatation par la chaleur, dans les pierres des deux têtes du pont, les unes exposées au sud, et les autres au nord. M. Vicat en a conclu que les grandes voûtes soumises aux vicissitudes atmosphériques et aux changements brusques de température n'étaient jamais en équilibre.

*Pont de Waterloo ou du Strand sur la Tamise, à Londres*, exécuté par le célèbre Rennie avant 1816.

Ce pont, dont la voie de $8^{m}$,53 de largeur ponr voitures a un trottoir de rive de $2^{m}$,13 de largeur, est de niveau et formé de neuf arches elliptiques de $36^{m}$,57 d'ouverture chacune, et de $10^{m}$,66 de montée. Les piles ont $6^{m}$,09 d'épaisseur à fleur d'eau et $9^{m}$,14 à la base; ce pont a été construit en pierres de granit blanc d'Écosse.

Les culées et les piles ont été fondées par batardeaux sur plates-formes de grillage et pilotis. La hauteur de l'eau à marée basse est de $3^{m}$,10 sous le pont; la Tamise, refoulée par la marée, monte de $3^{m}$,35 à $3^{m}$,65 et même jusqu'à 5 mètres dans les vives eaux.

Chaque pile pose sur 320 pilotis de $0^{m}$,30 de diamètre moyen sur $5^{m}$,05 à $6^{m}$,05 de longueur; on compte nn pieu par mètre carré.

Afin de diminuer le poids que portent les piles, on a laissé dans les reins, au-dessus de chacune, des espaces vides qui se terminent en plan horizontal à la voie du pont. Des

murs de briques *parallèles à la longueur* du pont sont établis à égale distance dans ces vides intérieurs, et sont recouverts par des pierres plates qui supportent l'empierrement de la voie.

Pour augmenter la liaison des vonssoirs avec les assises des piles, on avait soin, en posant chacun d'eux, de le battre au moutoa contre les pierres déjà posées. Aussi, lors du décintrement, le point milieu ne s'est abaissé an plus que de 3 cent. 8.

Les matériaux de l'intérieur des piles, culées et voûtes sont d'un moindre volume, ont moins de résistance que les pierres de parement; mais n'étant pas exposés à l'action de l'air, ils conserveront leur force et leur solidité. Au contraire, les autres ponts de Londres, ceux de Westminster et de Blackfriars, étant parementés en pierre tendre, susceptible de se décomposer, ont souffert beancoup de l'action du temps.

*Pont de Chester sur la Dee, en Angleterre*, terminé en 1834 par l'ingénieur anglais Hartley.

Ce pont d'nne seule arche de 60 mètres d'ouverture en arc de cercle, de 12 mètres de flèche, et sous lequel *peuvent passer des bâtiments mâtés*, a été fondé en grande partie sur le rocher. Toutefois, le terrain solide ayant manqué dans la zone arrière de la culée nord, on a été forcé, ponr l'atteindre, de recourir à un pilotis. Le terrain qu'il y avait à traverser était si mou qu'un seul coup de mouton déterminait un enfoncement de $1^m,5$ à 2 mètres. L'appareil de la voûte a été prolongé à travers les culées de manière à avoir ses naissances sur le terrain naturel, dans lequel elles ont été encastrées par entailles. L'épaisseur de la voûte à la clef est de $1^m,20$, et les voussoirs ont 2 mètres de longueur aux naissances. Les reins de la voûte ont été élégis, non comme d'ordinaire par do petites voûtes transversales à l'axe du pont, mais par des groupes de voûtes longitudinales dont la *hauteur verticale* diminuait progressivement depuis le parement des culées, et en remontant vers la clef. Les culées, à travers lesquelles deux arches marinières ont été pratiquées, ne sont pas non plus massives. Entre les piédroits des arches et les piédroits des culées vers la rivière, il existe trois contre-forts de jonction qui comprennent entre eux deux vides rectangulaires.

Pour éviter les épaufrures d'arête à l'intrados et à l'extrados, on a garni les voussoirs de *cales en plomb* dont l'épaisseur, décroissant dans la longueur du joint, avait pour objet de satisfaire à toua les mouvements *articulatoires* de la voûte lors dn décintrement.

Le cintre de cette voûte était fixe et n'avait coûté qne 72,500 fr.; il reposait sur des piliers à faux frais construits dans la largeur du débouché. Le tassement lors du décintrement n'a été à la clef que de $0^m,065$.

On s'est servi, pour le levage des pierres, du treuil à engrenage mobile en foute de fer usité aujourd'hui dans une foule de travaux. Ce treuil est muni de roulettes par lesquelles il glisse sur des chemins de fer, qni peuvent être transportés facilement euxmêmes; en sorte qne l'appareil peut fonctionner sur un point quelconqne des zones de travail.

*Pont sur la Dora, dans les faubourgs de Turin* (Piémont), terminé avant 1834 par M. Mosca, ingénieur piémontais.

Ce pont, d'une seule arche en arc de cercle de 44m,23 d'ouverture sur 5m,40 de flèche, a une surface droite de niveau ; les deux têtes sont évidées par des *cornes de vache* analogues à celle du pont de Neuilly.

Les culées, de 12 mètres d'épaisseur avec contre-forts en arrière de 6 mètres de longueur, ont été fondées sur grillage piloté. Le nombre des pieux de chaque culée a été de 470, dont 214 pour le massif proprement dit. Pour prévenir les épanfrures des arêtes lors du décintrement, la dernière arche a été divisée en trois zones : dans la zone inférieure, l'épaisseur des joints des voussoirs grossissait de l'intrados à l'extrados ; dans la deuxième zone, l'épaisseur était uniforme ; dans la troisième, l'épaisseur grossissait de l'extrados à l'intrados. On s'est servi de calcs en plomb et en tôle de fer pour produire ces variétés d'épaisseur.

On a pris d'ailleurs, pour constater les effets du décintrement, les mêmes dispositions que celles qui avaient été employées en France au pont de Nogent-sur-Seine, en 1769.

Avant cette opération, on a eu soin, du reste, d'enlever, sur 6 centimètres de profondeur à l'intrados et à l'extrados, tout le mortier des joints comme dernière précaution contre les épaufrures.

Vingt jours après la pose des clefs, le décintrement a été effectué ; il a duré cinq jours, et au bout de ce temps le tassement était de 0m,16 ; la clef est restée 0m,106 plus haut que la cote des projets et tracés. M. l'ingénieur Mosca, dans le but d'éviter des tassements pendant la pose des maçonneries des reins, corniches et parapets, a chargé la voûte uniformément d'un poids d'épreuve de près de 3000 tonnes qui est resté en place pendant quatre mois et n'a produit qu'un tassement de 0m,04. La chape au-dessus de la voûte a été formée d'une première couche de *ciment bitumineux* de 0m,15, battu jusqu'à ce qu'il fût durci, et d'une deuxième couche en pareille matière de 0m,07 d'épaisseur, mais mélangée avec du gravier menu.

Ce travail a duré quatre ans.

On terminera les notions sommaires sur les ponts en maçonneries par le tableau des dépenses de construction de quelques grands ponts modernes.

*Tableau des dépenses de construction de quelques ponts en maçonnerie de divers âges.*

| DÉNOMINATION DES PONTS. | DATE de la construction. | NOMBRE D'ARCHES. | LARGEUR de la voie d'une tête à l'autre du pont. | LONGUEUR de la voie d'une culée à l'autre. | SURFACE A de la voie. | HAUTEUR moyenne de la voie du pont au-dessus du fond de la rivière. | PRODUIT B de cette hauteur par la surface A de la voie. | DÉPENSE totale à l'époque de la construction. | DÉPENSE par chaque mètre carré des surfaces A. | DÉPENSE par chaque mètre cube des produits B. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *En France.* | | | | | | | | | | | |
| Pont-Royal ou des Tuileries sur la Seine . . . . . . . . | 1632 | 5 arches de 22 mètres d'ouverture moyenne. | mèt. 17 | mèt. 150 | m. q. 2210 | mèt. 19 | m. c. 41,990 | liv. tour. 742,000 (a) | liv. tour. 333 (a) | liv. tour. 17,60 (a) | |
| Pont d'Orléans sur la Loire . . | 1760 | 9 arches de 30m,20 d'ouverture moyenne. | 15 | 343 | 5145 | 15 | 77,175 | liv. tour. 2,671,000 (b) | liv. tour. 519 (b) | liv. tour. 34,60 (b) | Tous les prix pour les époques de construction antérieures à 1790 devront, pour être comparables à ceux d'aujourd'hui, être forcés en raison de la dépréciation monétaire. |
| Pont biais de Treport sur la Marne. . . . . . . . . | 1760 | 5 arches de 24m,50 d'ouverture moyenne. | 9,75 | 88 | 858 | 14 | 12,012 | liv. tour. 489,000 (b) | liv. tour. 559 (b) | liv. tour. 40,00 | |
| Pont de Saumur sur la Loire . . | 1764 | 12 arches de 19m,50 d'ouverture moyenne. | 12,10 | 293 | 3545 | 15 | 53,175 | liv. tour. 586,100 (b) pour fondations seulement. | liv. tour. 250 (b) pour fondations seulement. | liv. tour. 15,30 (b) pour fondations seulement. | |
| Pont de Mantes sur la Seine . . | 1765 | 3 arches de 37 mètres d'ouverture moyenne. | 11 | 125 | 1375 | 18 | 24,750 | liv. tour. 612,000 (b) | liv. tour. 446 (a) | liv. tour. 24,70 (b) | |
| Pont de Neuilly sur la Seine . . | 1774 | 5 arches de 39 mètres, et 2 arches marinières dans les culées. | 14,60 | 226 | 3299,60 | 15 | 49,494 | liv. tour. 2,303,000 (b) | liv. tour. 698 (b) | liv. tour. 46,30 (b) | Les prix (a) devraient probablement être triplés, et les prix (b) doublés. |
| Pont de Saint-Maxence sur l'Oise. | 1784 | 3 arches de 23m,40. | 12,70 | 78 | 990,60 | 13 | 12,878 | liv. tour. 1 526,000 (b) | liv. tour. 1540 (b) | liv. tour. 119,00 (b) | |
| Pont de Louis XVI sur la Seine . | 1791 | 5 arches en arc de cercle de 26 mètres d'ouverture. | 15,60 | 142 | 2215 | 12 | 26,580 | fr. 2,993,000 (b) | fr. 1351,00 (b) | fr. 112,00 (b) | |
| Pont de Frouart sur la Moselle . | 1788 | 7 arches de 19m,50 d'ouverture. | 9,75 | 173 | 1686,75 | 10 | 16,867 | liv. tour. 440,000 (b) | liv. tour. 261,00 (b) | liv. tour. 26,10 (b) | |
| Pont de Rouen sur la Seine . . | 1824 | 6 arches, dont 2 de 31 mètres au milieu, et 4 de 26 m. sur les rives. | 15 | 178 | 2670 | 23 | 61,410 | fr. 7,000,000 (b), y compris les abords. | fr. 2996,00 (b) *Id.* | fr. 130,00 (b) *Id.* | |
| *Ponts étrangers.* | | | | | | | | | | | |
| Pont de Blackfriars sur la Tamise, à Londres . . . . . . . | 1769 | 1 arche de 30m,50 d'ouverture, et 8 de 21m,34. | 13,26 | 303 | 4017,80 | 16 | 64,284 | liv. tour. 3,800,000 (b) | liv. tour. 945,00 (b) | liv. tour. 59,00 | |
| Pont de Waterloo sur la Tamise, à Londres . . . . . . . | 1817 | 9 arches de 36m,60 | 12,80 | 387 | 8823,60 | 18 | 158,825 | fr. 25,000,000, y compris tous les abords. | fr. 2833,00 *Id.* | fr. 157,00 *Id.* | |
| Pont de Chester sur la Dee. . . | 1834 | 1 arche de 60 mètres d'ouverture et 12 m. de flèche. | 10 | 60 | 600 | 21 | 12,600 | 1,247,500 fr. 187,500 pour abords. 1,435,000 | fr. 2074 312,50 | fr. 98,70 14,90 | |
| Pont sur la Dora, près de Turin en Piémont . . . . . . . | avant 1835 | 1 arche de 44m,24 sur 5m,40 de flèche. | 12 | 14,24 | 531 | 12 | 6,372 | fr. 1,400,000 | fr. 2636 | fr. 219,00 | |

*Viaducs, ponts et ponceaux en bois.*

On peut classer en deux catégories les viaducs, ponts et ponceaux avec charpente en bois.

La première comprend ceux de ces ouvrages où le tablier de passage est seul en bois, et où les supports sont en maçonnerie, tantôt s'arrêtant à *l'origine de la charpente des tabliers*, tantôt s'élevant jusqu'au niveau de la voie du pont.

La deuxième comprend les viaducs, ponts et ponceaux où les piédroits, qu'on nomme alors *palées* au lieu de *piles*, sont également en bois.

Dans la première catégorie, le tablier de passage en bois n'est quelquefois que provisoire, et en attendant l'exécution de voûtes en maçonnerie, ou d'arches métalliques; dans ce cas, les fondations et les maçonneries de support doivent évidemment être faites pour la destination définitive.

Mais si le tablier en bois est *définitif*, il est évident que la résistance des fondations et des piédroits peut être beaucoup moindre, et qu'elle n'a besoin que de correspondre au poids du tablier et à la charge maximum éventuelle, qu'on est convenu d'évaluer à raison de 200 kilog. par mètre carré de *voie fréquentée*.

La préférence à donner à la première catégorie ci-dessus de viaducs et ponts en bois, sur les ponts entièrement en maçonnerie, tient à diverses causes : à des considérations de défense militaire ; à des motifs d'économie dans la dépense initiale, surtout dans les fondations; à l'absence de pierres durables de grand échantillon pour voûtes en maçonnerie; à une rapidité obligatoire d'exécution plus grande; aux sujétions de la navigation, s'il s'agit de rivières à franchir ; enfin l'on emploie souvent ce système mixte de construction, pour éviter les difficultés de voûtes biaises en maçonnerie.

Par des motifs en sens inverse, les ponts et viaducs en charpente ont quelquefois été construits avec piles en pierre plutôt qu'avec palées en bois, parce que ces dernières n'auraient pu opposer une résistance suffisante aux crues et débâcles d'un cours d'eau.

La deuxième catégorie de viaducs, ponts et ponceaux, a généralement un caractère précaire ou provisoire : toutefois les sujétions locales, surtout dans les matériaux disponibles, peuvent aussi en justifier l'emploi permanent.

On voit que le système de charpente des arches est commun aux deux catégories, et ce qu'on dira sur ce système pour la première s'appliquera à la seconde.

*Première catégorie de ponts avec travées en charpente sur piles en maçonnerie.*

Les combinaisons de charpente qu'on peut adopter pour les travées d'un viaduc ou d'un pont, ou seront telles qu'elles n'exerceront aucune poussée contre leurs supports et pourront être considérées comme posées sur ces derniers, ou bien elles exerceront une poussée.

Dans le second cas se reproduit ce qu'on a dit pour les piles des viaducs et ponts en maçonnerie : on peut faire remplir à ces piles les fonctions de culées, ou seulement les envisager comme en équilibre sous des poussées opposées. Toutefois le premier mode paraît ici devoir être préféré, parce qu'il permet la réparation successive de chaque travée, et surtout parce que la charge éventuelle étant, dans ce cas, presque toujours supérieure à la charge permanente, il arrivera fréquemment qu'elle ne portera successivement que sur une travée en particulier.

Lorsque les charpentes des travées n'exerceront point de poussée, les dimensions des piles et culées pourront être réduites à celles de deux murs de support qu'on supposerait accolés, c'est-à-dire, pour des matériaux de moyenne dureté, à $1^m,50$ ou $1^m,70$.

On renvoie d'ailleurs aux leçons sur les fondations en général et sur les fondations des viaducs et ponts en particulier, pour les principes généraux de construction des culées et piles des ouvrages mixtes dont il vient d'être question.

Le nombre des travées à établir dans un viaduc ou pont en bois dépend, comme pour les ponts en maçonnerie, d'une foule de considérations locales ; mais ici il y en a une nouvelle, toute spéciale.

Les voûtes en maçonnerie, bien exécutées, ont une durée indéfinie ; il n'en est pas de même des travées en bois : il faut donc se ménager les moyens de réparer les diverses parties d'une travée. Or, cette condition sera d'autant plus difficile à remplir, que l'ouverture des travées sera plus grande. Les promptes altérations qu'éprouve le bois alternativement exposé à l'humidité et à la sécheresse, doivent faire placer les naissances d'une travée en *charpente plus haut*, toutes choses égales d'ailleurs, que celles d'une voûte en maçonnerie. L'énorme masse de ces dernières oppose d'ailleurs aux chocs des corps flottants et aux glaces une résistance qui n'existe pas dans les travées en bois. D'un autre côté, les travées en charpente comportent des flèches de montée moindres généralement que celles des voûtes en maçonnerie, et, dans quelques cas, se prêtent à des ouvertures d'arches bien plus grandes que dans ces dernières. Enfin, la nature et les dimensions des bois dans chaque localité doivent avoir une grande influence sur le choix de la combinaison de charpente à adopter, et par conséquent sur la largeur qu'il faut donner aux travées. C'est donc une question très-complexe que cette dernière fixation, et elle n'est susceptible d'aucune règle générale.

La largeur de la travée, ou de la voie d'un viaduc ou pont, et de ses trottoirs est réglée d'après les mêmes considérations que dans les ponts en maçonnerie ; il en est de même pour le dressement de niveau ou en pente longitudinale de la voie charretière du pont.

Composition des travées en charpente.

Une travée quelconque se compose d'un certain nombre de fermes en charpente, sur lesquelles sont posés des *soliveaux transversaux*, recouverts d'un premier plan de madriers ; sur ce plan on met tantôt une chaussée empierrée ou pavée, ou un deuxième plan de madriers qu'on nomme *faux plancher*, croisé avec le premier et exécuté en bois

Pl. 41. Fig. 233.

plus mince. C'est ce dernier qui est exposé directement aux roues et aux chevaux,

et qu'on garnit souvent de pierrailles pour faciliter le passage de ces animaux.

Les chaussées empierrées ou pavées, outre leur poids, ont l'inconvénient d'empêcher l'assèchement des parties supérieures de la charpente de la travée, et d'en hâter la pourriture.

L'emploi de *soliveaux intermédiaires*, entre le dessus des fermes et la plate-forme des planchers, permet d'espacer davantage les fermes, de parer aux irrégularités de pose et surtout assure, par la ventilation, une plus grande durée aux bois.

On a employé avec succès le mastic bitumineux, saupoudré de menu sable argileux, pour les trottoirs des ponts en charpente réservés aux piétons.

Les fermes d'une travée se bornent quelquefois à deux, qui forment les têtes amont et aval, quand le viaduc ou pont n'a que la largeur nécessaire pour le passage d'une voiture, ou à trois quand ce passage est pour deux voitures. Ce petit nombre de fermes, qui oppose de grandes difficultés aux réparations et renouvellements (à moins que par avance on n'en double le nombre sur chaque rive), n'avait été guère employé que pour des travées d'une grande ouverture, où *la charpente de chaque ferme s'élevait plus haut que la voie du viaduc ou pont*. Ponts avec simples fermes maîtresses de tête.

Palladio, en Italie, paraît être le premier qui ait cherché à donner aux travées une grande ouverture, en mettant toutes les parties de la charpente des travées *beaucoup au-dessus des eaux*, et en leur faisant dépasser la voie du pont. Le pont de 33 mètres d'ouverture, représenté fig. 234 des planches, a été construit sur le Cismone, entre Trente et Bassano. Pl. 41. Fig. 234

On trouvera, dans les œuvres de Gauthey et Krafft, des dessins et des descriptions de plusieurs grands ponts de ce genre, tels que ceux de Zurich, de Ritter, de Wettingen, de Kandel et autres, qui ont duré plus de quarante ans sans renouvellements. Ce résultat a été dû probablement à la couverture d'abri, qui, dans ces ponts, était supportée par les maîtresses fermes de tête. Pl. 41 et 42 Fig. 235

Ce système a été suivi, en France, pour le pont de la Pile, sur l'Ain, incendié en 1814 et reconstruit en 1818 sur le projet de M. l'ingénieur Levaillant (fig. 236 des pl.). Pl. 42 Fig. 236.

Les fermes sont au plus espacées à 3$^{m}$,50 dans la même travée. Il est évident d'ailleurs que la résistance des bois étant en simple raison de la largeur, il n'y a qu'un simple excédant de main-d'œuvre à multiplier les fermes, en les faisant plus minces, qu'à espacer beaucoup un petit nombre de fermes très-fortes. Dans le premier cas, les charges en dessus et en dessous sont mieux réparties, et, ce qui est plus important, on n'a pas besoin de bois d'un aussi fort échantillon, et dès lors on a plus de chances de les avoir sains et durables; enfin les réparations et renouvellements sont bien plus faciles.

Dans les viaducs qui appartiennent à un chemin de fer, il est évident d'ailleurs qu'il suffit de placer des fermes dans *les alignements* des diverses lignes de rails.

Tant que les travées n'ont que 4 à 5 mètres d'ouverture, de simples poutres ayant une forte dimension verticale suffisent pour les fermes. Mais au delà de 5 jusqu'à 15 mètres, Composition des fermes des travées en charpente.

et même plus loin, si les longueurs des bois le permettent, on peut former, ainsi qu'il a été dit à la leçon sur la *Résistance des bois*, des assemblages ou des canevas rectangulaires ayant la même résistance qu'une poutre unique de la même hauteur qu'eux. On compose ces canevas de triangles, en y intercalant des pièces ayant pour objet, les unes d'empêcher l'écartement, les autres le rapprochement des deux poutres de rive haut et bas du canevas. On rendra les cadres encore plus résistants si l'on y introduit, outre les pièces de bois qui seront comprimées ou tirées, des montants en fonte de fer et des tirants en fer forgé, susceptibles de raccourcissement à l'aide de vis de rappel.

Mais ces systèmes n'offrent pas toujours toute la rigidité désirable, et plus généralement, pour les travées au delà de 5 mètres, et jusqu'à 15 ou 16 mètres, on emploie graduellement les dispositions suivantes pour les fermes des travées des ponts :

Poutres armées de contre-fiches vers leurs extrémités ;

Poutres avec sous-ponceaux et contre-fiches à leurs extrémités ;

Pl. 42. Fig. 237. Poutres avec sous-poutres au milieu de la portée, cette sous-poutre étant tenue par des contre-fiches ;

Pl. 42. Fig 238. Enfin, poutres avec sous-poutreaux aux extrémités, sous-poutres au milieu de la portée, contre-fiches et même moises pendantes pour empêcher la flexion des contre-fiches.

On remarquera, dans les figures 238 des planches, le pont sur le Var, exécuté avec des bois ronds de mélèze simplement dégrossis.

Une disposition qu'il est important de ne pas négliger pour augmenter considérablement la résistance des fermes de tête, c'est de les relier au parapets en bois ou en fer de la rive du pont par des tirants en fer verticaux, qui arrivent jusqu'à la main courante ou lisse supérieure du parapet, et de former ce parapet lui-même avec des montants et des croix de Saint-André.

Au delà de 15 à 16 mètres, il faut revenir aux canevas déjà décrits ci-dessus, ou aux systèmes de charpente triangulaire analogues aux ponts allemands déjà cités ; ou arriver enfin à des cintres d'assemblage en arc de cercle ou plein cintre. Ces cintres seront du reste composés soit dans le système à la Philibert Delorme, soit dans ceux des ponts de Gauthey, de l'ingénieur allemand Wiebeking et de M. le colonel Émy.

Le système de cet officier, déjà mentionné dans la leçon sur la *Résistance des bois* (figures 19 des planches), ne diffère des précédents, comme on le sait déjà, que parce qu'il substitue des planches minces et facilement flexibles aux pièces équarries d'un fort échantillon, et forme ainsi une sorte de ressort élastique en bois. Il a été employé pour des ouvertures de 50 mètres dans de vastes combles d'édifices ; mais sa grande hauteur se prêterait difficilement aux travées des ponts en charpente, et il est à craindre, et surtout dans des ponts découverts, que la pourriture ne se développe rapidement dans les nombreuses surfaces du contact des lames de bois formant le cintre. Il serait difficile de les remplacer partiellement sans démonter les fermes elles-mêmes.

Dans le système des constructions allemandes, qui a été étendu jusqu'à des ouvertures de 119 mètres, les entraits horizontaux, ainsi qu'on a pu le voir par les figures 235, sont nécessairement composés de plusieurs pièces jumelées verticalement ou horizontalement, et entrelacées soit au moyen de dents pratiquées en sens opposés, soit plutôt par des dés cylindriques en bois ou en fonte, répartis en échiquier, et engagés dans des mortaises pratiquées dans les faces correspondantes des pièces à réunir (figures 16 des planches) comme dans les assemblages de mâts et de vergues.

Système de charpente des travées de divers ponts d'Allemagne.

Le système des cintres d'assemblage est raccordé (voir les œuvres de Gauthey, t. II) avec l'aire supérieure du pont par des moises pendantes dirigées suivant le rayon, ou mieux encore verticalement. Il a été employé jusqu'à 40 mètres d'ouverture avec flèche de 4 à 5 mètres, et les fermes des cintres, jusqu'au nombre de sept, avaient chacune jusqu'à 2 *mètres d'épaisseur dans le sens du rayon*.

Ce système très-surbaissé se lie assez bien aux grandes ouvertures dans les localités où *le niveau des crues est à une médiocre profondeur en contre-bas du sol de la route;* mais il partage, avec celui de M. le colonel Émy, l'inconvénient d'exposer les bois à une détérioration anticipée, et de ne se prêter à aucunes réparations partielles.

M. Wiebeking, en Allemagne, a donné une grande extension au système des arches à grande ouverture avec fermes cintrées. Le pont de Bamberg (figures 239 des planches) a 72 mètres d'ouverture sur 5 mètres de flèche. La largeur du pont est de $9^m,34$. L'arche unique est composée de trois fermes; mais les fermes de côté sont doubles, probablement pour le cas de renouvellement de l'une d'elles, et celle du milieu est accompagnée, de chaque côté, par trois cours de pièces courbes qui en forment une ferme triple. La hauteur du bois de chaque ferme est de plus de 2 mètres. Les pièces de chaque rang élémentaire du cintre sont des bois d'une grande longueur, pliés par des appareils suivant la courbure voulue, et dont il faut prévenir le redressement à l'aide de boulons et d'armatures en fer.

Pl. 42. Fig. 239.

On remarque au pont de Freysing, de deux arches chacune de 46 mètres d'ouverture (figures 240 des planches), que la charge des planchers est transmise aux fermes cintrées par des *piles transversales* de pièces superposées les unes aux autres.

Pl. 43. Fig. 240.

La plupart de ces ponts de grande dimension ont été exécutés en Bavière de 1807 à 1809, et ont donné passage aux plus fortes voitures de roulage. Mais ce système, qui a les inconvénients signalés plus haut dans les fermes cintrées en général; de plus exige des bois de grande dimension, qu'on ne rencontre plus en France; et l'opération par laquelle on les plie doit, dès l'origine, altérer gravement leur élasticité, et hâter la déformation des fermes.

Le tableau ci-dessous donne les dimensions principales des ponts exécutés en Allemagne d'après le système de M. Wiebeking.

*Tableau des principales dimensions des ponts en bois construits ou projetés en Allemagne par M. Wiebeking.*

| INDICATION DES PONTS. | Largeur des ponts. | Longueur de la voie. | Ouverture des arches. | Plus grand rayon des cintres. | Flèche des cintres après le tassement. | Rapport de l'ouverture à la flèche. | Longueur des courbes les plus longues. | Équarrissage des courbes. | Flèche des courbes. | Rapport de la longueur des courbes à leur flèche. | Distance des entretoises de milieu en milieu. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mét. | mét. | mét. | mét. | mét. | mét. | mét. | mètres. | mét. | mét. | mét. |
| Pont de Munich, projeté. . | 11,68 | 101,00 | 83,49 | 195,61 | 5,84 | 14,30 | . . . | 0,364 à 0,389 | . . . | . . . | 3,50 |
| Pont de Bamberg, bâti en 1809 sur la Regnitz . . | 9,34 | 71,81 | 62,76 | 127,46 | 5,11 | 12,50 | 16,05 | 0,340 0,389 | 0,316 | 50,80 | 3,95 |
| Pont de Scharding, bâti de 1808 à 1809 sur la Rott . | 7,59 | 71,81 | 58,38 | 77,72 | 5,69 | 10,26 | 18,97 | 0,316 0,389 | 0,510 | 37,14 | 4,79 |
| Pont de Freysing, bâti en 1807 et 1808 sur l'Isar, brûlé en 1809 . . . . | 7,59 | 108,00 | 46,41 | 78,64 | 3,50 | 13,25 | 14,01 | 0,316 0,364 | 0,437 | 32,00 | 3,84 |
| Pont d'Augsbourg, sur le Lech, bâti en 1807 et 1808. | 7,64 | 113,55 | 34,44 | 47,81 | 3,21 | 10,72 | 12,51 | 0,316 0,364 | 0,486 | 25,28 | 5,70 |
| Pont d'Ettringen, sur la Wertach, bâti en 1808 et 1809 . . . . . . . . | 7,59 | 52,83 | 42,03 | 92,45 | 2,41 | 17,46 | 13,82 | 0,316 0,389 | 0,333 | 26,20 | 3,50 |
| Fermes diagonales de ce pont . . . . . . . | . . . | . . . | 49,33 | 106,58 | | | | | | | |
| Pont d'Irsingen, sur la Wertach, bâti en 1808 . | 7,59 | 43,34 | 37,93 | 86,19 | 2,12 | 17,91 | 14,60 | 0,291 0,364 | 0,486 | 30,00 | 4,67 |
| Pont de Neuœttingen, sur l'Inn, bâti en 1807 et brûlé en 1809 . . . . | 7,59 | 172,51 | 31,23 | 60,72 | 2,04 | 15,29 | 17,81 | 0,316 0,364 | 0,729 | 24,40 | 5,25 |
| Pont de Vilshofen, sur la Vils, bâti en 1809. . . | 8,17 | 65,68 | 34,00 | 114,20 | 3,36 | 16,09 | 11,68 | 0,340 0,389 | 0,364 | 30,00 | 3,50 |
| Pont d'Altenmarkt, sur l'Alz, bâti en 1809. . . | 8,17 | 35,17 | 40,97 | 59,09 | 3,89 | 10,96 | 11 68 | 0,243 | 0,364 | 30,00 | 2,38 |

Les divers systèmes ci-dessus dépensent tous beaucoup de fer pour les boulons et armatures de liaison, et de fonte pour les entrelacements des divers plans de bois. Leurs naissances exigent les plus grandes précautions contre la pénétration des fibres des bois, contre les chocs et la pourriture. Ordinairement on assemble les abouts des cintres sur des poteaux inclinés en bois, ou mieux encore sur des plaques en fonte de fer.

On peut voir, au reste, dans l'ouvrage de Gauthey, et mieux encore dans le *Résumé des leçons sur la résistance des matériaux* de M. Navier, et dans la note insérée par lui dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, le mode de calcul de la résistance des canevas de charpente et des cintres en charpente, des poussées qu'ils peuvent

exercer contre leurs appuis, et des flèches qu'ils peuvent prendre sous la charge maximum permanente et éventuelle, flèches dont il faut tenir compte dans la confection et la pose, afin que la surface de la voie du pont ne présente jamais de creux au milieu des travées.

D'après Wiebeking, cette flèche est donnée par la formule $z=0,02\ \frac{h}{e}$, où $e$ est l'ouverture de l'arche en mètres, et $h$ la flèche du cintre.

On sait déjà qu'une pièce cintrée, placée entre deux culées fixes, ne prend, sous un poids donné, que le tiers de la flèche qu'elle prendrait si elle était redressée et posée librement sur ses appuis.

Dans toutes les travées d'une ouverture au delà de 15 à 20 mètres, la pénétration des bois qui se rencontrent doit être au reste évitée par l'interposition de lames ou même d'armatures en fer ou en fonte.

Dans un pont de 103 mètres d'ouverture d'arche, appelé le Colossus, et exécuté à Philadelphie, aux États-Unis, toutes les pièces sont ainsi garnies de cales, liées par des armatures en fer, et il n'existe de tenons et mortaises que dans les parties supérieures. C'est en effet par les assemblages que commence la pourriture des parties inférieures des charpentes. On a visiblement cherché à imiter, dans cet ouvrage, l'appareil des voussoirs d'une voûte en pierre, en composant chacun des voussoirs d'un canevas *invariable en bois*. Pl. 43. Fig. 241.

Toutes les pièces de bois de ce pont avaient été mises à nu jusqu'au cœur du bois et triées. Elles sont partout séparées les unes des autres par des armatures en fer, liées par des boulons à écrous, qu'on peut resserrer à volonté si quelque partie venait à s'ébranler. Chaque pièce peut d'ailleurs être remplacée sans porter atteinte à la solidité du reste de la construction. Toutefois, le système de charpente de ce pont exerce une poussée considérable sur les supports. Elle n'existe pas dans le pont de *Newhope*, également construit aux États-Unis, et représenté également dans les fig. 241 des planches. Les poutres de support du plancher y fonctionnent comme entraits, et sont rattachées par des boîtes en fonte aux naissances des arcs.

M. le major Poussin a signalé, dans son ouvrage sur les travaux publics des États-Unis, un nouveau système de charpente imaginé par M. Town, et qui paraît avoir rempli la plupart des conditions de ce genre d'ouvrages. En effet, ainsi que M. le major Poussin le fait observer, dans ce système : Nouveau système de charpente imaginé aux États-Unis par M. Town.

1° Il n'y a aucune poussée contre les piles et culées, dont les dimensions sont ainsi restreintes à leur minimum; Pl. 43. Fig. 242.

2° L'action des charges agit toujours dans le sens des fibres du bois, et le remplacement des tenons et mortaises d'assemblage par des gournables empêche les mauvais effets de la pénétration des bois;

3° Le débouché au-dessus du niveau des eaux est partout de la même hauteur sur toute la longueur du pont, et il serait facile de disposer la construction de manière

qu'elle eût une zone de tablier mobile pour le passage des bâtiments à voile;

4° L'action des charges est répartie sur un grand nombre d'éléments, et offre ainsi plus de garanties de résistance et de durée;

5° Ce système s'adapte à toutes les grandeurs de débouchés, avec plus d'économie qu'aucun des autres systèmes suivis jusqu'à présent;

6° Il ne se compose que de matériaux qu'on peut se procurer partout à bon marché, et le remplacement d'une pièce isolée s'y fait avec la plus grande facilité;

7° Enfin il offre, comme les ponts *allemands*, aux voyageurs et aux marchandises un abri, qui défend en même temps la charpente des ponts eux-mêmes contre les intempéries des saisons.

Pl. 43. Fig. 243 et 244.

M. le major Poussin ajoute que, pour toute ouverture au-dessous de 40 mètres, on peut, dans le canevas des maîtresses-fermes, se restreindre, comme il est indiqué dans les figures 243 des planches, à deux cours de ventrières longitudinales, l'une au haut, l'autre au bas; mais qu'au delà de 40 mètres il serait prudent de les doubler, comme il est indiqué figures 244 des planches.

On manque encore, du reste, de données pour comparer la durée de ces nouvelles travées en bois à celle des travées des divers systèmes exécutés jusqu'à ce jour.

Liaisons des fermes de la même travée en charpente.

Quelle que soit l'ouverture des travées et la combinaison des bois dans les fermes de la même travée, il est essentiel que toutes ces fermes s'entr'aident et concourent à la résistance, soit dans le sens vertical, soit dans le sens horizontal. Ainsi, les soliveaux des travées, s'ils portent directement sur les fermes, ou, à leur défaut, des groupes spéciaux et multipliés de *moises* transversales devront s'entailler au droit de chaque ferme et se lier avec elles par des boulons. Ces entailles, dont on peut varier la profondeur, donnent en outre le moyen d'éviter des déchets considérables de bois, et d'employer le bois équarri tel qu'il vient des forêts, c'est-à-dire avec la forme de pyramide quadrangulaire tronquée, dont les dimensions au petit bout sont généralement de 1/6 à 1/8 plus faibles qu'au gros bout.

Dans les travées d'une ouverture plus grande que 10 à 12 mètres, les fermes d'une même travée, liées comme il vient d'être dit, n'offriraient qu'une faible résistance contre les ouragans, les eaux, les glaces et les corps flottants, si on ne les arc-boutait par des pièces en diagonale qu'on nomme *contrevents*, qui sont les unes en bois, les autres en fer forgé, et dont le canevas en plan doit présenter un réseau de triangles intercalaires aux fermes. Ce réseau doit être plus serré vers le milieu des travées que vers leurs naissances. Les figures 245 des planches indiquent la disposition de contrevents faite par M. l'ingénieur Emmery au pont d'Ivry.

Pl. 43. Fig. 245.

Quelquefois même on allonge les culées et les piles pour pouvoir disposer, contre les fermes de tête des travées, des demi-fermes qui se placent obliquement aux têtes de pont, et forment des *étrésillonnages latéraux*.

Mais, dans ce cas, il importe de remarquer que, pour les piles, les demi-fermes de deux travées adjacentes produisent une poussée, dont la résultante tend à détacher les

extrémités du corps de la pile, et qu'il faut y pourvoir par des liaisons ou ceintures en bois ou en fer.

Dans les travées formées de simples poutres, ou de poutres armées de sous-poutres, contre-fiches et moises pendantes, la pose se fait pour chaque ferme par parties, et à l'aide d'échafaudages ou suspendus ou portés par des embarcations amarrées contre le courant. Levage des ponts en charpente.

Mais si les fermes sont des arcs à la Philibert Delorme, ou dans le système du colonel Émy, le levage se fait en masse, après avoir relié entre eux les deux côtés de la ferme par des *planches d'ouverture à faux frais*. Cette opération s'exécute par des *mâts de charge* avec poulies (dites palans), renforcés au besoin de treuils ou cabestans, et ces appareils eux-mêmes sont supportés, soit par des ponts de service temporaires, submersibles ou insubmersibles, soit par des bateaux, chalands, radeaux d'eau liés entre eux et amarrés contre le courant.

Dans le système de charpente de Wiebeking, la confection des fermes se fait en quelque sorte dans le levage lui-même, ainsi qu'on peut le lire dans le traité de Gautbey, et c'est là un des inconvénients principaux de ce système.

L'historique sommaire des accidents éprouvés par le pont de Besons sur la Seine, et publié par M. Jollois, ingénieur en chef des ponts et chaussées, complétera ce qui est relatif à la première catégorie des viaducs et ponts en bois avec piles et culées en pierres. Notice sur le pont de Besons sur la Seine.

Ce pont est formé de sept arches de 20 mètres d'ouverture sur une largeur de voie de 7 mètres; cette voie est à 12 mètres au-dessus du fond du lit de la rivière; de là des remblais très-élevés aux abords; mais leur poussée avait semblé devoir être équilibrée par les culées et par la poussée contraire des arcs en charpente; toutefois, ce pont était à peine achevé en 1811, que des lézardes se manifestèrent aux angles d'épaulement des murs de culées avec les corps carrés des culées des deux rives, et l'on s'aperçut que les deux murs de culées, qui avaient été fondés sur pilotis, s'avançaient en rivière, et que les pilotis eux-mêmes surplombaient dans le même sens. Par suite, les fermes cintrées en charpente, refoulées ainsi à leurs naissances, gonflèrent à leur sommet et relevèrent la voie du pont des deux arches extrêmes. On attribua ces effets à plusieurs causes : à la fiche trop courte des pieux; à la trop grande hauteur de leurs têtes au-dessus du fond de la rivière; au remblaiement prématuré des terres en arrière des maçonneries encore fraîches des culées; enfin à des affouillements qui avaient eu lieu dans le lit de la rivière et sous les arches extrêmes. Pl. 44. Fig. 246.

Après avoir vainement essayé d'arrêter les mouvements : 1° en enlevant les remblais, et en les remplaçant par des contre-murs en pierres sèches adossés aux culées; 2° en formant sous les arches extrêmes un radier général en enrochements; on prit le parti d'adosser contre le parement des culées un chemin de halage dont le mur de soutènement, fondé par caissons et lié aux culées par des *contre-forts équidistants en arc de cercle*, devait former une ceinture d'enveloppe des zones inférieures des culées; on se

résignait d'ailleurs à la démolition des parties supérieures. Cette disposition, indiquée aux fig. 246 des planches, a eu un entier succès.

Il était utile de faire disparaître le surhaussement du sommet des fermes cintrées. Pour y parvenir, il fallut soutenir ces fermes pendant qu'on dégageait les maçonneries des culées où leurs naissances étaient engagées. On se servit à cet effet de vérins (grandes vis en bois) qu'on établit sur une plate-forme portée par un pilotis à faux frais. Les vérins avaient un écrou commun dont la longueur était égale à la largeur de la voie du pont, en sorte que les mouvements d'abaissement étaient uniformes sur toute cette largeur.

L'ouvrage publié par M. l'ingénieur en chef Emmery, sur la *Construction du pont en bois avec piles et culées en maçonnerie d'Ivry sur la Seine*, est un véritable manuel pour ce genre d'ouvrages, et on y renvoie pour tous les détails d'exécution.

Ce pont est formé de cinq arches de 22$^{m}$,25 d'ouverture moyenne, a une longueur totale de 122$^{m}$,25 entre les culées, et une largeur de voie de 9$^{m}$,25, et par conséquent une surface de voie de 1131 mètres carrés. Cette voie est à 13 mètres au-dessus du fond de la rivière, en sorte que le volume de l'espace occupé par le pont est de 14703$^{mc}$.

| | |
|---|---|
| La dépense s'est élevée, y compris les abords et travaux annexes, à . . . . . . . . . . . . . . | 795,000 fr. |
| Ce qui fait ressortir le mètre carré de voie à . . . . | 703 |
| Et le mètre cube de volume total d'espace à . . . . | 54 |

*Deuxième catégorie de viaducs, ponts et ponceaux en bois.*

Il ne reste à décrire ici que ce qui est relatif aux culées et palées en bois.

Culées en bois des ponts en charpente. Les culées ont toujours à résister à la poussée des terres, et quelquefois à celle des travées; mais les points d'application de ces deux genres de poussées ne sont jamais à une distance telle, qu'elles puissent déterminer une tendance à la rotation. Dans les travées de petite ouverture, la poussée des terres sera généralement prédominante; le contraire aura lieu dans les travées de grande ouverture. Un système transversal d'assemblages triangulaires verticaux correspondant à l'aboutissement des diverses fermes, et bordé du côté des terres, serait convenable dans les deux cas. Il serait

Pl. 37. Fig. 220. analogue à celui qui a été indiqué pour les batardeaux (figures 220 des planches.)

Mais le terrain pourrait être trop résistant pour que ce système pût y être enraciné par le bas comme pilotis, ou trop mou pour offrir une résistance latérale suffisante. Dans le premier cas, on lie les fermes verticales de la culée au terrain, en les y encastrant par leur semelle inférieure, et en leur adossant en arrière une maçonnerie de gros blocs posés à sec. Dans le deuxième cas, on aurait recours aux moyens déjà indiqués pour les fondations des viaducs ou ponts en maçonnerie.

Souvent, à cause de la détérioration plus rapide dans les culées en bois que dans les palées, on leur substitue des perrés de revêtement de rive, sauf à espacer les palées de manière que la portée des poutres du pont, depuis le haut des perrés jusqu'aux premières palées vers chaque rive, ne soit pas disproportionnée avec leur résistance.

Palées en bois.

Les palées sont ordinairement formées en hauteur de deux parties, l'une inférieure qui est engagée dans le terrain et qu'on nomme *basse palée*, et l'autre supérieure, qui s'appuie sur la précédente, reçoit les abouts des fermes de la travée, et s'élève jusqu'au-dessous de la voie du viaduc ou du pont. Pl. 44. Fig. 247.

Dans les terrains qui se refusent à la fiche des pieux, il n'y a point de pieux de basse palée, et si l'on possède des bois de grande longueur, le même pieu sert dans la basse et la haute palée; cependant l'inégale durée des bois sous l'eau et en terre, et de ceux qui sont exposés aux vicissitudes atmosphériques oblige, lors des réparations, à la subdivision indiquée ci-dessus.

Si les palées doivent être établies sur le rocher, et que l'on ne veuille ou ne puisse pas les encastrer, il est nécessaire de retenir leur pied soit par un bétonnage, soit par des enrochements.

Si les palées doivent résister à la poussée des travées et former culées, il faudra, dans la plupart des cas, avoir au moins deux rangées de poteaux par haute palée dans le sens de leur largeur, et relier les poteaux correspondants d'une rangée à l'autre par des croix de Saint-André. Pl. 44. Fig. 248. Les poteaux de hautes palées d'une même rangée sont coiffés d'un chapeau, et sont engagés par leur pied dans des semelles posées sur les chapeaux des pieux de basse palée, et entaillées avec ces derniers.

Les pieux de basse palée sont au moins en même nombre que ceux de haute palée; Pl. 44. Fig. 249. mais, suivant la nature du terrain et l'espèce de refus auquel le battage conduira, il y aura souvent deux ou trois rangées de pieux de basse palée pour une rangée de poteaux de haute palée.

Tout ce qu'on a dit plus haut pour la tenue des pilots de fondations de viaducs et ponts en maçonnerie s'applique d'ailleurs ici; seulement, à raison de la moindre valeur des viaducs et ponts en charpente, et des considérations d'économie qui auront fait adopter ce genre d'ouvrages, on substituera des enrochements, ou des fascinages entremêlés de couches de blocaille aux bétonnages autour des fondations. Pl. 44. Fig. 250. L'on recouvrira même au besoin le lit de la rivière de menus enrochements, de fascinages ou de plates-formes en bois, si l'on craint les corrosions et les affouillements.

Brise-glace.

Les hautes palées pour résister aux glaces et aux corps flottants, si elles ne sont pas défendues en amont par des brise-glace isolés et spéciaux, doivent présenter des arêtes saillantes et tranchantes, comme il est indiqué fig. 248 des planches.

Mais, de plus, pour empêcher les poteaux des hautes palées de s'incliner parallèlement entre eux de l'amont à l'aval, il est utile (voir la même figure 248) de les croiser dans le plan vertical de chaque rangée par des pièces diagonales, dirigées en montant de l'aval à l'amont et entaillées au droit de chaque poteau montant.

Les brise-glace détachés qu'on place en avant des palées se composent : ou d'un simple plan de bois vertical placé dans le fil de l'eau, terminé du côté amont par une arête en biseau inclinée de 30 à 45° sur la verticale, ou d'une pyramide triangulaire aiguë, dont une des arêtes est placée dans le sens du fil de l'eau, avec la même inclinaison de 30 à 45° de l'amont vers l'aval. Le patin de la pyramide est tenu au reste comme les palées.

Pl. 44. Fig. 254.

Les dimensions de toutes les pièces de basse palée, haute palée, travée, etc., doivent d'ailleurs être calculées d'après le maximum des charges correspondantes, dans l'hypothèse des éventualités les plus défavorables et suivant les règles indiquées à la leçon sur la *Résistance des bois*.

Dépense de construction des ponts avec palées en bois.

La dépense de construction des ponts avec palées en bois dépend, comme celle des ponts en maçonnerie, d'une foule d'éléments qui varient d'une localité à l'autre. Les culées et leurs abords étant les mêmes, quelle que soit la longueur du pont, il en résulte que, toutes choses étant égales d'ailleurs, les ponts de grande longueur devront moins coûter par mètre courant que ceux d'une petite longueur.

Les trottoirs et parapets des deux rives de la voie seront aussi un article de dépense indépendant de la largeur de cette voie, ce qui doit dès lors rendre, toutes choses aussi égales d'ailleurs, les ponts les plus larges moins coûteux par mètre courant de largeur de voie que les ponts étroits.

Des passerelles avec culées et palées en bois, fondées sur pilotis dans des terrains vaseux, de 85 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur de voie, et par conséquent de 255 mètres carrés de surface de voie, où cette voie était à 5 mètres au-dessus du fond des eaux, ont coûté 18,000 fr.

| | |
|---|---|
| Ce qui fait reporter le mètre courant de voie à . . . . . . . . . . | 211 fr. |
| Le mètre carré à . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 70 |
| Le mètre cube de l'espace occupé par le pont à . . . . . . . . . | 14 |

Un grand pont en bois, de 22 travées de 12 mètres chacune, avec palées en bois et culées en maçonnerie, fondé sur pilotis, dont tous les bois étaient en sapin du Nord, a coûté :

| | |
|---|---|
| Pour les deux culées et leurs abords . . . . . . . . . . | 61,120 fr. |
| Pour chaque palée avec brise-glace 2,576 fr., et pour les 21. . | 53,256 |
| Pour chaque travée . . . . . 6,815 fr., et pour les 22. . | 149,930 |
| Total. . . . . . . . . . | 264,306 |

Si les culées avaient été seulement en bois ou en perrés, la dépense se serait réduite à 219,000 fr.

Ce pont a 264 mètres de longueur totale, 7$^m$,50 de largeur de voie, et par conséquent

1980 mètres carrés de surface de voie; cette voie est à 8 mètres au-dessus du fond de la rivière, en sorte que le volume de l'espace occupé par le pont est de 15,840 mc.

| | Avec culées en pierres. | Avec culées en bois. |
|---|---|---|
| Le prix du mètre courant de voie ressort donc à | 1,000 fr. | 795 fr. |
| Celui du mètre carré de surface de voie à. . . | 133 | 906 |
| Celui du mètre cube d'espace à . . . . . . | 16,6 | 13,2 |

*Viaducs et ponts fixes en fer.*

Les viaducs et ponts fixes en fer exécutés jusqu'à ce jour ont été, comme les viaducs et ponts en charpente de la première catégorie, appuyés sur des culées et piles en maçonnerie, tantôt s'élevant jusqu'au niveau de l'aire du pont, tantôt s'arrêtant aux naissances des travées métalliques.

L'ajustage et la pose d'arches métalliques, et surtout leurs réparations, exigent des ouvriers habiles qu'on ne trouve guère que dans les grandes villes ou dans les grands chantiers et usines métallurgiques.

L'usage de ces ponts, indépendamment de leur prix élevé, et malgré leur poids généralement moindre que celui des arches en maçonnerie, sera donc limité à un petit nombre de localités. D'ailleurs les viaducs et ponts suspendus, qui sont d'une confection bien plus simple, dans lesquels on peut vérifier facilement la résistance de chaque pièce avant l'emploi, dont le montage n'exige pas une grande habileté technique, ont de plus le grand avantage de franchir de grands intervalles, d'économiser considérablement sur les dépenses de fondations des piles, et y joignent, pour les ponts proprements dits, celui de ne pas gêner la navigation.

La rouille et même la décomposition interne que la fonte semble éprouver par un long séjour dans l'eau, surtout dans l'eau *saumâtre*, doivent, indépendamment de son prix élevé, la faire rejeter pour les culées et piles des ponts à tablier métallique.

Les principes généraux qu'on a indiqués pour les fondations des piles et culées, et leurs dimensions dans les ponts en maçonnerie et bois, s'appliquent ici.

L'ouverture et la flèche des travées, le nombre de ces dernières, dépendent, comme pour les viaducs et ponts en maçonnerie et en bois, d'une foule de considérations qui excluent toute règle générale. Dans le petit nombre des ponts de ce genre qui ont été exécutés, il se trouve des travées qui ont jusqu'à 80 mètres d'ouverture et 5 mètres de flèche.

Seulement ici, comme dans les ponts en bois, il paraît convenable de placer les naissances des travées au moins au-dessus du niveau des eaux ordinaires.

Tout ce qui a été dit sur la largeur et les dispositions de la voie charretière pour les viaducs et ponts en maçonnerie et en charpente, et particulièrement pour les viaducs de chemin en fer, s'applique ici également.

Avantages et inconvénients de la fonte de fer et du fer forgé pour les viaducs et ponts métalliques.

Les systèmes à employer pour les travées métalliques reposent sur les propriétés de la fonte et du fer forgé, qui ont quelques analogies avec celles de la pierre et du bois. La fonte présente, comme la pierre, une grande résistance aux efforts qui tendent à l'écraser; le fer forgé résiste, comme le bois, à des efforts qui tendent à en allonger les fibres.

La fonte, par la fusion, se prête mieux que toute autre espèce de matériaux aux formes les plus convenables pour la résistance; mais les difficultés de moulage, de fusion homogène ne permettent pas d'obtenir sans grande dépense des pièces élémentaires ayant plus de 8 à 9 mètres de longueur et plus de 3000 à 4000$^{kil.}$ de poids. La fonte brute mal dosée, ou mise en contact avec du charbon de mauvaise qualité, peut produire de la fonte *moulée* cassante et inattaquable au burin; enfin l'inégalité de retrait ou d'allongement par les variations de la température et les chocs peuvent déterminer des ruptures brusques très-dangereuses.

D'un autre côté, le fer forgé, qui présente une multitude de variétés de qualités, ne peut fournir des pièces d'une grande section transversale, par exemple de plus de 64 centimètres carrés, ni d'une grande longueur, par exemple de 8 à 10 mètres, que par des corroyages et des soudures très-coûteux, et d'une exécution quelquefois imparfaite.

Des canevas en fer forgé exigent de nombreux assemblages, que la dureté du métal rend très-difficiles à ajuster avec précision.

Pour réduire, autant que possible, les dépenses de confection et le poids d'une travée métallique, il faut donc que la fonte et le fer y soient employés dans les conditions de leur maximum de résistance et de durée, et ne soient pas projetés sur des dimensions en dehors des moyens ordinaires de l'industrie. Il faut surtout qu'ils se composent, autant que possible, d'*éléments entièrement semblables*, afin que le même travail, se reproduisant un grand nombre de fois, soit effectué avec la précision et l'uniformité qu'on n'obtient qu'avec des machines, ou que par une répétition continuelle et spéciale des mains-d'œuvre faites par des hommes.

Il résulte de ces considérations que, dans l'exécution des ponts fixes en fer, l'art du fondeur et celui de l'ouvrier en fer doivent servir presque exclusivement de guides, et que dans les contrées comme la France, où les métaux sont à un prix fort élevé, et où les ouvriers habiles ne sont pas encore très-répandus, ce genre d'ouvrage sera peu employé.

C'est en vue de ces conditions que les travées de tous les ponts métalliques exécutés jusqu'à ce jour sont disposées dans leurs parements de dessous en demi-cercles ou arcs de cercle plus ou moins surbaissés. D'ailleurs on sait qu'une pièce courbe porte, avant de fléchir, une charge triple de celle qu'elle porterait si elle était droite, et avec la même portée.

La voie de travée, suivant les besoins de la circulation, est disposée pour un seul passage de voitures, ou pour deux, tantôt sans trottoir, tantôt avec un ou deux trottoirs. Afin de diminuer les efforts de la trépidation et des chocs dans le passage des voitures ou des hommes, cette voie doit être séparée des parties métalliques par des plates-

formes élastiques en bois. Aussi, dans la plupart des ponts, la chaussée est portée par des madriers en bois, fixés sur des pièces transversales, en bois, fonte ou fer forgé qui portent elles-mêmes sur les fermes métalliques des travées.

On s'était préoccupé beaucoup, dans les premiers ponts fixes en fer, des effets des changements de température sur la fonte et le fer forgé. D'après les calculs de Gauthey, dans le *Traité de construction des ponts* (v. 2), une ferme de 80 mètres d'ouverture sur un rayon de courbure de 80 mètres, et une hauteur métallique de 2 mètres dans le sens du rayon, n'aurait éprouvé que 1$^{mill.}$,16 de différence entre les dilatations linéaires de l'intrados à l'extrados, et par une différence totale de température de 40° Réaumur.

Au pont de Southwark, l'ingénieur Rennie avait observé que le sommet de chaque arche de 64 mètres d'ouverture se relevait de 0$^{m}$,007 par chaque augmentation de 10° de chaleur du thermomètre de Fahrenheit; en sorte que, par une élévation totale de 90° de température à ce thermomètre, le surhaussement de l'arche n'eût été que de 0$^{m}$,07.

Dans les premiers ponts en fer, comme celui de Colebrookdale en Angleterre, et le pont des Arts en France, l'on a composé les fermes de travées de plusieurs grands arcs en fonte concentriques, tenus à distance au-dessus les uns des autres par de petites colonnes en fonte dans le sens du rayon. Ces colonnes portent la charge des pièces du plancher, laquelle leur est transmise, dans les reins de voûtes, par des montants en fonte, ou par des anneaux intercalaires de différents diamètres, tangents à la fois entre eux, aux grands arcs du cintre et au-dessous du plan de bois de la voie du pont. Ce remplissage avait en outre pour objet d'empêcher le cintre de se relever dans les reins quand *la charge mobile arrivait au sommet*.

Description succincte de quelques grands ponts métalliques.

Pl. 45 Fig. 252.

On voit que dans ce système la fonte des arcs ne travaille pas dans les meilleures conditions de résistance.

Dans les ponts subséquents de Sunderland (fig. 253 des pl.), de Staines en Angleterre (fig. 254 des pl.), et d'Austerlitz à Paris (fig. 255 des pl.), l'on a décomposé un cintre en fonte de 1$^{m}$,50 environ d'épaisseur dans le sens du rayon, et de 68 à 108 centim. de largeur dans le sens du fil de l'eau, par des *châssis* dont la longueur, suivant le cintre, a varié de 0$^{m}$,74 à 0$^{m}$,60. Ces châssis sont évidés de manière à présenter, dans les parements du pont, trois arcs concentriques réunis par des montants dans le sens des rayons. Pour augmenter la résistance contre le choc des corps flottants, il est avantageux de donner aux arcs, dans le sens du fil de l'eau, une dimension triple au moins de celle des montants.

Pl. 45 et 46. Fig. 253, 254 et 255

Les châssis ci-dessus sont liés les uns aux autres comme il suit : 1° par des arcs en fer forgé qui suivent leur cintre extrados et passent dans des rainures ménagées à cet effet dans les châssis; 2° par des *faux-tenons* ou clavettes, et par des mortaises ménagées dans les parois contiguës des deux châssis; 3° enfin par des *pattes* et des boulons dans les joints de contact des châssis.

Le vide des reins entre le cintre principal en fonte de chaque ferme et le plan de bois de la voie du pont a été rempli tantôt par les anneaux en fonte déjà mentionnés

ci-dessus, tantôt, comme au pont d'Austerlitz, en continuant concentriquement la même disposition de châssis.

Dans ces divers systèmes, on a cherché à rendre solidaires les fermes de la même travée, et à donner de la résistance, dans le sens du fil de l'eau, contre les vents, les glaces, les grandes crues, etc., etc., par des entretoises en fonte pleine ou évidée, et par des réseaux de tirants en fer forgé, formant des triangles, comme les contrevents dont il a été question dans les travées des ponts en charpente. On a même, dans des projets non exécutés, étrésillonné les têtes des arches par des fermes obliques verticales, partant du milieu de ces arches et aboutissant à des prolongements des piles et culées, ainsi qu'il a été expliqué pour les ponts en charpente.

Pl. 46. Fig. 256. On a reproché au système de canevas de châssis de ne pas opposer de résistance aux changements de forme, par l'absence d'anneaux intérieurs, ou de croix de Saint-André en fonte ou en fer forgé. On y a remédié dans divers ponts exécutés en Angleterre, et dans celui de Bonar, en Écosse, représenté dans la figure 256 des planches.

Au pont d'Iéna, d'abord projeté avec travées métalliques, cette amélioration devait être faite également.

Les ponts entièrement en fer forgé n'ont été exécutés que sur une petite échelle. On en trouvera des exemples dans l'ouvrage de feu M. Bruyère, inspecteur général des ponts et chaussées, intitulé : *Études relatives à l'art des constructions*.

Pl. 46. Fig. 257. On les a formés également de travées en arc de cercle, et dans chaque travée de châssis en quadrilatères, avec croix de Saint-André dans l'intérieur de chaque châssis.

On peut voir, dans l'essai théorique et pratique sur le fer, de feu l'ingénieur Duleau, les dispositions qui avaient été projetées à Bordeaux pour un pont avec travées en fer forgé. Elles se réduisaient à composer les fermes des arches de châssis en fonte disposés suivant un cintre, et dont le canevas, en fer forgé, était muni de croix de Saint-André. (Pl. 46. Fig. 258)

Les fermes des travées dans les ponts fixes en fer, exécutés depuis une vingtaine d'années en Angleterre, présentent trois parties distinctes : 1° un cintre inférieur plus ou moins surbaissé, subdivisé en un nombre plus ou moins grand de voussoirs minces en fonte de fer; 2° des raccordements superposés à l'extrados de ce cintre, et qui s'élèvent jusqu'au-dessous de la voie du pont; 3° de cette voie elle-même.

Ponts fixes en fer le plus récemment exécutés en Angleterre. L'ingénieur Jessop a exécuté plusieurs arches de 30m,47 d'ouverture et 4m,57 de flèche, qui n'ont consommé chacune que 152,290kil. de fer dit *fer gris*, et dans lesquelles le cintre principal de chaque ferme n'est décomposé qu'en deux grandes pièces ou voussoirs qui s'arc-boutent au sommet de l'arche.

Le pont de Southwark sur la Tamise, le pont sur la Trent dans le comté de Strafford, le pont sur le Lary, près de Plymouth, présentent à peu près les mêmes combinaisons, et l'on se bornera à décrire celui de Southwark.

Pl. 47, 48 et 49. Fig 259, 260 et 261. Chaque cintre de ferme de 64 mètres d'ouverture y est décomposé en treize voussoirs, ayant chacun 6m,20 de longueur développée ; la hauteur de ces voussoirs, dans le sens du rayon de l'intrados à l'extrados, est de 2m,134; l'épaisseur, dans le sens transversal,

est de $0^m,09$ avec pattes en retour de $0^m,10$ de largeur aux deux extrémités, pour les liaisons des voussoirs entre eux.

Pour compléter les analogies avec les voûtes en maçonnerie, les plans de joints qui se correspondent dans les fermes de la même travée sont formés de plaques transversales en fonte de mêmes hauteur et épaisseur que les voussoirs avec lesquels elles se réunissent à angle droit. Ces plaques, qui sont en deux et trois morceaux alternativement, sont d'ailleurs élégies d'une ferme à l'autre par de grands vides carrés avec arrondissements dans les angles. La liaison des plaques de joint avec les voussoirs a lieu par les pattes de retour de ces derniers, et par des nervures sur les plaques qui forment, au droit de chaque voussoir, des coulisses où l'épaisseur des voussoirs s'engage.

Le contreventement des plaques de joint ci-dessus, et par conséquent celui des fermes, est opéré par des pièces en diagonale en fonte de fer, dont le profil d'une plaque à l'autre est une croix qui se démaigrit en solide d'égale résistance depuis le milieu de la longueur de chaque arc-boutant jusqu'à ses points d'attache.

Les tympans des voûtes sont formés d'une série de trapèzes à joints verticaux décomposés en figures triangulaires, lesquelles, deux à deux, forment des losanges. Ces trapèzes sont limités haut et bas par des semelles en fonte; celle d'en bas, munie de rebords, doit s'appuyer sur l'extrados des voussoirs; celle d'en haut doit porter les pièces de support de la voie du pont; une troisième pièce intermédiaire, dirigée en arc, divise les trapèzes en deux parties par la hauteur. La liaison des trapèzes avec les voussoirs se fait par des tenons dans les premiers, et des mortaises dans les seconds, qu'on peut serrer par le côté avec des clefs.

Le contreventement des trapèzes de fermes de la même travée est effectué à la hauteur de l'*arc intermédiaire* de ces trapèzes par des croix de Saint-André en fer forgé et en fonte.

La voie du pont est composée de plaques en fonte de $1^m,22$ de largeur, et alternativement de $6^m,70$ et $3^m,35$ de longueur, fortifiées en dessous par des nervures dans les deux sens orthogonaux; ces nervures divisent les plaques *en cases* ou *caissons*, et servent aussi à les réunir aux semelles supérieures des trapèzes des tympans. Ces plaques, au lieu d'être pleines sur le dessus, pourraient être aussi à *mailles* si la voie du pont était recouverte de planches ou de dallages.

La décomposition des poids d'une *demi-grande arche* du pont de Southwark est comme suit :

| | kilogrammes |
|---|---|
| Voussoirs | 56,2152 |
| Diagonales | 18,524 |
| Plaques de joint | 62,016 |
| Croix de Saint-André | 26,796 |
| Trapèze à losanges | 183,960 |
| Plaques et culées adossées aux piles | 13,195 |
| Plaques de recouvrement sur la voie | 154,280 |
| Corniches et parapets | 78,409 |

Le brillant succès qu'a récemment obtenu à Paris M. Polonceau, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, dans l'exécution du nouveau pont en fonte de fer à péage, dit des Saints-Pères, a fait faire un grand pas à la construction des ponts fixes métalliques. Wiebeking et Reichenbach, en Allemagne, et Ganthey, en France, avaient déjà indiqué antérieurement l'emploi de tuyaux creux en fonte pour diminuer le poids des châssis élémentaires des cintres en fonte; mais ils n'avaient pas songé à substituer à ces châssis eux-mêmes de grands tuyaux creux à section elliptique dont le grand axe est vertical. Les travées, au nombre de trois, du nouveau pont ont plus de 45 mètres d'ouverture sous $4^m,80$ de flèche au moins. Chacune d'elles est formée de 5 fermes, et chaque ferme est composée d'un grand cintre creux à section elliptique de $0^m,76$ de grand axe et de $0^m,40$ de petit axe, et qui n'est subdivisé qu'en 11 pièces sur tout son développement.

Pl. 49 et 50. Fig. 262 et 262bis.

L'extrados de ce cintre est raccordé avec le dessous du plan de bois, formant la plate-forme du pont, par des anneaux tangents au-dessus et au-dessous, liés les uns aux autres, et dont les diamètres vont croissant depuis le sommet des cintres jusqu'aux naissances.

Les fermes du pont des Saints-Pères sont reliées entre elles par des tirants en fer placés dans le sens du fil de l'eau, et contreventées diagonalement par de petits tuyaux creux en fonte.

Dans le nouveau chemin de fer de Londres à Birmingham, on a employé, pour deux viaducs métalliques, le système des anciens ponts allemands en bois, c'est-à-dire de simples fermes de tête accouplées, dépassant le *dessus de la voie du pont*, et supportant toute la charge de cette voie.

Pl. 50 et 51. Fig. 263. Les figures 263 des planches représentent le viaduc construit à la rencontre du canal du Régent : on y remarque que les entre-voies des rails sont en plaques de fonte dentelées; que les gîtes des coussinets des rails sont en chêne, et reposent sur des maîtresses poutres transversales en fonte de fer, et que ces dernières à leur tour sont appuyées sur les groupes des fermes de tête.

Pl. 51. Fig. 264. Les figures 264 se rapportent au pont placé à la rencontre du canal de Paddington avec le chemin de fer de Birmingham à Bristol. Des grands arcs en fonte, accouplés deux à deux aux deux têtes du pont, supportent la voie, du côté des culées, par des colonnes en fonte; vers le milieu de l'arche, par des tiges de suspension analogues à celles des ponts suspendus.

Levage. Le levage des fermes de travées métalliques s'opère d'ailleurs sur cintres en bois, quand ces fermes sont composées de voussoirs, comme les arches en pierres. Il s'exécute comme pour les fermes des ponts en bois, quand le système de composition des travées métalliques se rapproche de celui des travées en bois.

On terminera ces notions sommaires sur les ponts fixes en fer par un tableau des dépenses de métal et des dépenses de construction de quelques-uns d'entre eux.

*Tableau des dimensions principales, poids en métal et dépenses totales de construction de quelques grands ponts fixes en fer.*

| INDICATION des PONTS EN FER. | Date de leur construction. | NOMBRE et GRANDEUR DES ARCHES. | Longueur totale de la voie. | Largeur de la voie. | Surface A de la voie. | Distance de la voie au fond de la rivière. | Produit B de cette distance par la surface A. | POIDS TOTAL en fonte de fer. | POIDS TOTAL en fer forgé. | DÉPENSE totale de construction. | POIDS de fonte par mètre carré A. | POIDS de fer forgé par mètre carré A. | POIDS de fonte par mètre cube B. | POIDS de fer forgé par mètre cube B. | Prix de revient par mètre carré A. | Prix de revient par mètre cube B. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mèt. | mèt. | m. q. | mèt. | m. c. | kil. | kil. | fr. | kil. | kil. | kil. | kil. | fr. | fr. | |
| Pont de Colebrookdale, en Angleterre . . . | 1779 | 1 arche de 30m,63 d'ouverture presque en plein cintre. | 30,63 | 8 50 | 260 | 19 | 4,940 | . . . . . | 181,225 | . . . . . . . | . . . | 188 | . . . | 46 | | | La dépréciation des valeurs monétaires rendrait le prix des mêmes maçonneries aujourd'hui plus coûteux ; mais, d'un autre côté, le fer est aujourd'hui moins cher en Angleterre qu'il ne l'était en 1796.<br>*Nota.* La plupart des ponts fixes en fer ayant été construits par des entrepreneurs pégistes, il est difficile de connaître la dépense réelle de construction. |
| Pont de Wearmouth, près Sunderland, sur la Wear (*id.*), fondé sur le roc . . . . | 1796 | 1 arche de 73m,15 d'ouverture, de 13m,64 de flèche. | 73,15 | 15 00 | 1097 | 31 | 34,007 | 215,206 | 406,810 | 625.000 | 196 | 370 | 6,30 | 11,70 | 569 | 18,30 | |
| Pont de Buildwash, près de Colebrookdale. | 1796 | 1 arche de 39m,62 d'ouverture. | 39,62 | 5,50 | 218 | . . . | . . . | 176,656 | | . . . . . . . | 811 | | . . . | . . . | | | |
| Pont de Southwark sur la Tamise . . . . | 1818 | 3 arches. Celle du milieu 73m,15 d'ouverture sur 7m,315 de flèche. Les 2 autres ont chacune 64 mètres d'ouverture sur 6m,40 de flèche. | 215,00 | 13,00 | 2795 | 21 | 63,210 | 5,613,756 | 50,763 | 8 000,000 | 2009 | 18,10 | 95 | 0,90 | 2862 | 36 | |
| Ponts fixes en fer de M. Jessop . . . . | 1818 | 1 arche de 30m,47 d'ouverture sur 4m,57 de flèche. | 30,47 | . . . | . . . | . . . | . . . | 152,290 | | 98.912 | | | | | | | |
| Pont en fer sur le Lary, près Plymouth. . . | 1831 | 5 arches ayant chacune 45 mètres d'ouverture moyenne. | 250,00 | 7,20 | 1800 | 12 | 21,600 | . . . . . | . . . . | 332,125 pour les maçonneries.<br>344,025 pour le métal.<br>676,150 | . . . | . . . | . . . | . . . | 375 | 31,20 | |
| Pont en fer sur la rivière de Trent. . . | 1831 | 1 arche de 42 mèt. d'ouverture sur 4m,22 de flèche. | 42,00 | 6,60 | 277 | 9 | 2,493 | . . . . . | . . . . | 62,500 pour fondations et abords.<br>79,825 pour culées.<br>95 000 pour le métal.<br>237,325 fr. | . . . | . . . | . . . | . . . | 856 | 95 | |

On renvoie pour plus de détails sur les ponts métalliques, et sur le mode de calculer la résistance des travées et leur poussée contre les piles et culées, aux ouvrages de Gauthey, de Duleau, aux résumés de feu M. Navier sur la résistance des matériaux, etc., etc.

---

## NOTE J.

### PONTS MÉTALLIQUES.

#### § A. *Considérations générales.*

Jusque dans ces derniers temps, l'on regardait comme une opération inexécutable la construction d'un pont permanent sur un cours d'eau large et rapide ou sur un bras de mer, soit à cause d'une profondeur d'eau considérable au-dessous de l'étiage ou de la marée basse, soit par suite du danger de rétrécir notablement le débouché par le fait de l'étendue à donner aux soubassements des piles.

La légèreté relative des ponts métalliques, l'emploi des pilots à vis ou à disque, et surtout la construction des fondations tubulaires à l'aide de l'air comprimé, ont fait disparaître presque entièrement les difficultés du problème, et désormais les cours d'eau les plus larges et les plus profonds ne seront plus un obstacle aux communications permanentes.

#### § B. *Pieux à vis ou à disque.*

##### *A.* **Pieux à vis.**

L'inventeur des pieux à vis est A. Mitchell, de Belfast, qui employa d'abord son système pour fixer au sol les amarres ou bouées. C'est en 1838, dans la fondation du phare établi sur le *Maplin Sand*, que cet ingénieur se servit pour la première fois des pieux à vis proprement dits.

La partie essentielle du système consiste en une forte vis plus ou moins tronconique, dont le filet tranchant ne forme que peu de spires en s'élargissant à partir du pied de façon à se développer au sommet en un disque aplati qui atteint parfois $1^m,25$ de diamètre.

Il suffit d'imprimer à la vis un mouvement de rotation pour la faire pénétrer *à terrain* sans disloquer ni altérer les couches traversées, ce qui lui donne à la fois une grande résistance à la traction quand on l'applique aux amarrages et une certaine stabilité latérale lorsqu'elle constitue un pieu à vis, c'est-à-dire quand on a boulonné sur sa tête

une tige pleine ou creuse, en bois ou en métal. Dans ce dernier cas, la surface hélicoïdale à large base devient le siége de la résistance à la compression résultant du poids supérieur, et la construction repose sur la tête de la tige qui fait elle-même corps avec la vis.

Les fondations sur pieux à vis ont été employées, en Angleterre et en Amérique, pour un grand nombre de phares, de môles ou jetées, et de ponts métalliques.

Elles peuvent être appliquées à la plupart des terrains ordinaires et même dans le tuf, la craie et les autres pierres tendres.

Les tiges sont pleines ou creuses; dans le premier cas, elles constituent des pilots en bois (fig. 935) ou en fer forgé ; dans le second, ce sont des cylindres en fonte ou en fer laminé. Ces derniers sont formés par la juxtaposition de plusieurs fortes tôles enroulées.

Le diamètre $d$ des tiges varie avec leur composition et leur genre de section, avec la profondeur d'eau, la charge à supporter et aussi un peu d'après la nature du sol.

Dans des terrains de vase, de sable, de gravier ou d'argile plus ou moins compacte, et pour des profondeurs d'eau de 8 à 12 mètres, on emploie les dimensions suivantes :

| | |
|---|---|
| Tiges pleines en bois . . . . . . . . | $d = 0^m,25$ à $0^m,35$ |
| » » en fer. . . . . . . . . | $d = 0^m,12$ à $0^m,20$ |
| » creuses en fonte . . . . . . . . | $d = 0^m,30$ à $0^m,40$ |
| » » en tôle . . . . . . . . | $d = 0^m,25$ à $0^m,35$ |

Quelquefois le diamètre des tiges à la tête est un peu plus fort que celui de leur base.

Les vis sont cylindriques ou coniques, généralement en fonte et rarement en fer forgé. L'on emploie les vis cylindriques dans les terrains peu résistants; on a recours à la forme conique, pour faciliter la pénétration, dans un sol caillouteux ou schisteux, et même parfois lorsqu'il s'agit de perforer des bancs de coraux ou de madrépores.

Les dimensions de la vis et les détails de son développement hélicoïdal varient avec la nature du terrain, avec le poids et le genre de la construction, et avec les circonstances spéciales de son emploi. C'est ainsi que, dans des bancs de corail ou de calcaire tendre, on a fait usage d'une forte vis courte, à forme de tarière (fig. 936) et à pointe. Au phare du Maplin bank, le diamètre maximum des spires atteint $1,^m22$.

Pour déterminer le diamètre qu'il est nécessaire de donner à la plus large partie hélicoïdale, on peut se servir d'une tige de sonde, à section circulaire de $0^m,015$ à $0^m,02$ de rayon, armée d'une vis de la forme adoptée et de $0^m,15$ à $0^m,16$ de diamètre maximum aux spires. Après avoir fait pénétrer la vis dans le sol jusqu'à la profondeur où l'on se propose d'arrêter la base des pilots, on surmonte la tige d'une plate-forme destinée à recevoir une surcharge P suffisante pour produire un faible enfoncement du système. De cette expérience on conclut qu'une vis présentant une surface de base $n$ fois plus grande que la vis d'essai pourrait supporter, comme limite permanente, une charge

*n* fois plus considérable, soit *n*P kilogrammes, outre qu'une surface continue résiste mieux que l'ensemble fractionné des *n* parties de cette surface.

L'introduction des pieux à vis dans le terrain s'opère, comme dans les sondages et les percements de puits artésiens, par l'intermédiaire d'une tête de cabestan exactement appliquée et calée sur le sommet de la tige.

Dans les cas ordinaires, en bon terrain, les hommes agissent directement sur les barres du cabestan. La pénétration est alors généralement rapide : elle atteint plusieurs mètres en une heure, même dans des couches d'argile ou de sable fin compacte, si l'on a soin d'employer au cabestan un nombre de barres et d'hommes en rapport avec le diamètre du pilot. Celui-ci est maintenu dans sa direction, soit à l'aide d'amarres formées par des chaînes, soit par une autre disposition.

Lorsqu'il est impossible de stationner près du pieu, comme dans le cas d'une mer très-agitée, on remplace le cabestan à leviers par une roue à gorge qui reçoit une chaîne sans fin s'enroulant, d'autre part, sur une poulie fixe ; les hommes agissent alors sur cette chaîne.

Dans les terrains très-résistants et pour des constructions importantes, là où il est nécessaire de déployer une grande puissance, la pénétration s'effectue au moyen de deux treuils opposés, placés sur des radeaux fixes et agissant sur des câbles qui s'enroulent autour d'une bobine calée sur la tête du pilot. L'opération, dans ce cas, marche encore très-rapidement. Dans un terrain de gravier compacte, par exemple, si l'on admet $\frac{1}{25}$ pour le rapport des forces appliquées aux manivelles et au câble, il suffit, au début, de placer un seul homme à chaque manivelle, et de doubler ce nombre à quelques mètres de profondeur; il faut quelquefois le tripler quand celle-ci atteint 7 à 8 mètres.

L'expérience a prouvé que, dans un sol résistant, il suffit d'un enfoncement de 3 à 4 mètres pour obtenir du pieu une grande solidité latérale.

Les pieux à vis présentent de nombreux avantages tant lorsqu'on les applique aux ouvrages maritimes ou de rivières que dans leur emploi pour travaux à pied sec. Ainsi :

1° Ils s'introduisent dans le sol à moins de frais que les pilots ordinaires en bois, même lorsque ceux-ci sont ensabotés.

2° La charge permanente qu'ils peuvent supporter est toujours considérable à cause de leur grande base hélicoïdale ; sous ce rapport, ils l'emportent encore notablement sur les pilots en bois, spécialement dans le cas d'un refus relatif.

3° Ils pénètrent dans tous les terrains, sauf les roches compactes, tandis que les pilots ordinaires ensabotés se brisent souvent, même dans le sable fin compacte et incompressible faute de parties argileuses.

4° Ils conservent, en rivière, le débouché presque intact pour les eaux ; il suffit de les garantir par des estacades en bois de la débâcle des glaces. Ils offrent aussi moins de prise au courant, et ne provoquent ni affouillement ni atterrissement.

**B. Pieux à disque**

Dans les terrains légers, tels que ceux qui constituent généralement le fond des rivières dans les vallées d'érosion, on substitue avec économie aux pieux à vis un système de cylindres creux en fonte appelés pieux à disque à cause de la forme de leur base.

Le pieu à disque (fig. 937) est terminé à sa partie inférieure par un disque en fonte de 0$^m$,60 à 0$^m$,80 de diamètre, garni à la face supérieure de six nervures rayonnantes destinées à consolider la base, et présentant par-dessous six bandes saillantes concentriques formant racloir. Une ouverture circulaire, de 0$^m$,07 à 0$^m$,08 de diamètre, est ménagée au centre du disque.

Le diamètre des pieux varie de 0$^m$,25 à 0$^m$,30; la fonte a 0$^m$,02 d'épaisseur moyenne. Chacun d'eux se compose de plusieurs tubes boulonnés entre eux et dont la longueur est de 2 à 3 mètres.

L'enfoncement s'effectue à l'aide d'un tuyau en fer, de 0$^m$,05 environ de diamètre, que l'on place dans le pilot de façon à lui faire traverser la base du disque qu'il dépasse de 0$^m$,35 à 0$^m$,40. Le pilot étant mis en place et maintenu par des amarres et des pontons, on met le tuyau central en communication avec une pompe de refoulement mue par une machine locomobile de 5 à 6 chevaux, et l'on imprime en même temps au pieu un mouvement circulaire alternatif pour faciliter, à l'aide du racloir inférieur, l'action de la colonne d'eau refoulée par la pompe et destinée à ameublir et à écarter le sable ou la terre qui s'oppose à la descente.

Dans les terrains très-légers, l'opération marche avec rapidité ; c'est ainsi que dans la construction des viaducs métalliques du Leven et du Kent, établis sur pieux à disque dans un terrain de sable fin d'alluvions, on a obtenu un enfoncement de deux mètres en moins d'une demi-heure.

D'ordinaire, on relie les pieux vers le fond par des cours de moises, à l'aide de la cloche à plongeur, ou bien on consolide leur pied par un enrochement.

Chaque pile de pont ou de viaduc se compose de quatre, cinq ou six pieux, dont les deux extrêmes, légèrement inclinés dans leurs tronçons supérieurs, font l'office de jambes de force contre les oscillations latérales. Vers le haut, tous les pilots sont reliés par un entretoisement général en fer rond de 0$^m$,05 de diamètre. Leurs têtes sont réunies par une plate-forme en fer qui reçoit la construction, ou bien, lorsqu'ils doivent servir de piles, ils portent chacun directement un des longerons métalliques du pont.

Les pieux à disque jouissent des mêmes propriétés que les pieux à vis, sauf qu'ils ne peuvent s'employer que dans les terrains de faible consistance. Mais ils présentent, sur ces derniers, l'avantage d'un enfoncement plus rapide, ainsi qu'une notable économie, tant à cause du prix des disques, qui est inférieur à celui des vis, que par les moindres frais d'établissement et d'exécution du pilotis.

## § C. *Fondations tubulaires.*

### A. Définitions.

Les fondations tubulaires ont pour objet d'asseoir certains ouvrages maritimes ou en lit de rivière, et spécialement les ponts métalliques, sur des tubes creux, de diamètre variable, généralement en fonte ou en tôle, et que l'on fait pénétrer sous l'eau à des profondeurs variables dans le sol.

Les divers systèmes employés jusqu'ici présentent, sur les fondations par encaissements ou par caissons foncés, des avantages incontestables et nombreux, lorsque la hauteur d'eau et l'épaisseur des couches compressibles sont considérables. D'une exécution facile et économique, les fondations tubulaires permettent de descendre à de grandes profondeurs, tout en procurant une rapidité remarquable dans le travail. D'autre part, le peu d'obstacle qu'elles opposent à la navigation et au courant ajoute encore à leur supériorité sur toute autre espèce de fondation hydraulique. Enfin, au point de vue économique, il peut se produire des cas où les fondations tubulaires présentent un avantage réel par la possibilité qu'elles procurent de pouvoir expédier sur les chantiers presque toutes les pièces du système terminées et prêtes à être assemblées, boulonnées et fixées sur place avec une grande facilité; circonstance favorable pour hâter l'ouverture d'une voie ferrée productive ou pour prévenir une longue interruption dans l'exploitation d'une ligne importante.

Lorsqu'on emploie des pieux à vis ou à disque, il est nécessaire de rencontrer une couche de terrain assez résistante pour obtenir un refus relatif. Avec les fondations tubulaires, il suffit d'employer des tubes d'un diamètre assez fort et de les descendre dans le sol à une profondeur suffisante pour que le refus de frottement diminue d'une manière convenable la pression sur la base. Enfin, si l'on complète les avantages du système par l'emploi de l'air comprimé, on parvient à faire pénétrer les tubes à travers des couches quelconques que l'on attaque directement et à sec malgré d'énormes pressions d'eau.

### B. Fonçage par dragage simple.

Dans des terrains légers ou mobiles, on a construit quelques ponts en faisant reposer la base des piles et culées sur plusieurs colonnes cylindriques, de 2 à 3 mètres de diamètre, construites de la manière suivante.

Sur l'emplacement de la fondation, on fait hors de l'eau, en maçonnerie de briques et ciment, un cuvelage de puits, d'un diamètre extérieur égal à celui de la colonne et d'une épaisseur de $0^m,40$ à $0^m,60$. Ce cuvelage s'établit sur un plancher flottant en bois, et s'immerge par son propre poids. On a soin qu'il s'élève d'environ un mètre au-dessus du niveau de l'eau lorsqu'il arrive à fond.

On assujettit alors le cuvelage verticalement, après avoir enlevé le fond mobile en bois, à l'aide de dispositions particulières établies au préalable, puis on drague à la main le fond intérieur de l'encaissement tubulaire en approchant le plus près possible de la paroi.

Au fur et à mesure qu'on enlève la terre plus ou moins vaseuse, la colonne s'enfonce progressivement; on peut même favoriser cette descente par une surcharge provisoire. Quand l'enfoncement a atteint $0^m,50$ à $0^m,60$, on élève d'autant le dessus du cuvelage; puis on drague de nouveau en employant des tiges à entures analogues à celles des sondages, et on continue ainsi le travail jusqu'à ce que le pied de la colonne repose sur le sol résistant. On coule alors à l'intérieur une couche de béton de ciment d'environ un mètre d'épaisseur; on épuise l'eau, et l'on achève de remplir le cuvelage avec du béton ordinaire.

C'est sur un certain nombre de ces colonnes encaissées qu'on pose le socle de la pile ou de la culée.

Ce genre de constructions, qui a été employé, entre autres, pour fonder quelques ponts du chemin de fer de Narbonne à Perpignan, présente plusieurs inconvénients qui ont fait renoncer à son emploi. Aussi, la grande surface de la section droite du cuvelage est un obstacle sérieux à la facilité du fonçage; le frottement latéral sur le périmètre extérieur s'ajoute, de son côté, à cette résistance, et son action va en croissant tout aussi bien que le poids de la colonne. Enfin, il est très-difficile de maintenir et de diriger bien verticalement une pareille masse et d'éviter des ruptures ou au moins des crevasses dans la maçonnerie.

Afin d'éviter en grande partie ces inconvénients et pour obtenir aussi une plus grande rapidité dans le travail, on a remplacé le cuvelage en maçonnerie par des tubes en fonte ou en tôles enroulées, qui sont formés d'une série de tronçons, de 2 à 3 mètres de longueur, boulonnés entre eux et foncés successivement soit à l'aide du dragage simple, soit en complétant l'action de ce dernier par l'addition de surcharges provisoires ou par le choc de moutons mus à la sonnette.

Les tubes sont également bétonnés, en tout ou en partie, à l'intérieur, dès qu'ils sont arrivés à terrain.

C'est ainsi qu'a été fondé en 1852, par l'ingénieur Brunel, le pont de Chepstow sur la Wye, pour le passage du Southwales-railway, à travers une couche de sable vaseux mou, ayant, en moyenne, 15 mètres d'épaisseur et reposant sur le roc.

La longueur de ce pont est de $189^m,89$, dont $92^m,96$ pour la grande travée au-dessus du chenal de navigation maritime; le reste comprend 3 travées égales. L'élévation des parties inférieures du pont au-dessus des basses mers est de 27 mètres.

Les deux piles des petites travées sont formées chacune de trois tubes en tôle, et la pile de la travée principale se compose de six tubes accouplés (fig. 938). Leur diamètre extérieur est de $2^m,45$ dans la partie enterrée et de $1^m,83$ en moyenne au-dessus du sol jusqu'au niveau inférieur du tablier.

Le pont est formé de quatre longerons en tôle, à double T et à nervures triangulaires creuses, qui forment corps deux à deux, avec deux tabliers métalliques portant chacun une voie indépendante et ayant une largeur totale de 12$^{m}$,50 entre les centres des tubes extrêmes.

Dans la travée principale, les tabliers et leurs longerons-parapets sont suspendus par un système particulier qui fractionne leur longueur en trois portées. A cet effet, les tubes de la culée et de la pile correspondant à cette travée sont prolongés jusqu'à 57$^{m}$,95 au-dessus du plan moyen de la base des fondations par des colonnes tronconiques en fonte. Celles-ci sont reliées à leur sommet par une plate-forme métallique sur laquelle reposent les extrémités de deux fortes poutres tubulaires cylindriques en tôle. A 26$^{m}$,85 de la pile et de la culée, le pont prend un point d'appui sur ces deux tubes supérieurs au moyen de forts bâtis verticaux en fer et de doubles chaînes inclinées.

La longueur considérable qu'il fallait donner aux tubes de fondations, la dureté de la couche incompressible, et la nécessité d'une grande résistance transversale empêchaient d'avoir recours aux pieux à-vis ou à disque, et la méthode suivante, qui avait réussi auparavant pour les ponts de la Medway et du Shannon, eût peut-être échoué avec des tubes aussi longs que ceux du pont de Chepstow.

Le principe de l'indépendance des voies fut adopté tout d'abord par les ingénieurs anglais lors de la création des ponts métalliques à grandes portées; Stephenson s'y conforma dans tous ses ponts tubulaires.

Cette combinaison passa ensuite sur le continent; toutefois l'on y adapta de préférence la poutre symétrique à double T, tant par un motif d'économie que parce que cette section convient à toutes les portées et offre autant de résistance que la section tubulaire, qui n'est favorable que pour des ouvertures supérieures à 50 mètres.

Le système des voies indépendantes présente les avantages suivants : 1° les efforts se répartissent également sur les deux poutres d'une voie, et se développent sur les pièces de tablier symétriquement à l'axe de la voie correspondante; 2° les deux poutres prenant des flexions égales et symétriques, leurs assemblages avec les pièces transversales ne sont pas inégalement sollicités et fatigués (fig. 939).

Mais, d'autre part, il est moins avantageux, au point de vue de l'économie, que les ponts à deux voies solidaires supportées par deux ou trois poutres. En effet, il exige une plus grande largeur totale du pont, des piles et des culées; en outre, les deux poutres intérieures pèsent beaucoup plus qu'une seule poutre centrale de même résistance relative, dans le cas d'un système à trois longerons garde-corps, et le même résultat se présente si l'on n'emploie que deux poutres de rive.

Au point de vue de la rigidité, le principe de la solidarité des deux voies l'emporte encore sur celui de leur indépendance, attendu que cette solidarité en doublant la masse et par conséquent son inertie, amène une plus grande résistance au gauchissement latéral ainsi qu'aux vibrations, si nuisibles à la solidité des assemblages.

Toutefois, il présente un inconvénient sérieux qui atténue beaucoup ces divers avantages ; il consiste dans l'inégalité de flexion des deux poutres correspondantes, lorsque l'une des voies est seule chargée par le passage d'un train. Cet inconvénient existe aussi bien dans les ponts à deux poutres que dans ceux où il y en a trois. La poutre de rive du côté de la voie chargée sera toujours plus exposée et elle prendra une flèche de courbure double de celle de la poutre adjacente, attendu que les moments d'élasticité respectifs seront dans ce rapport.

Quoi qu'il en soit, les ingénieurs français et allemands ont généralement abandonné depuis dix ans le principe de l'indépendance des voies. La plupart de leurs ponts sont composés de deux grandes poutres-parapets en treillis, reliées à un tablier métallique placé à la partie inférieure et formé, comme les poutres, de tôles assemblées. On peut citer dans ce genre le pont établi sur la Garonne à Bordeaux, en 1860 ; celui d'Argenteuil, sur la Seine, construit en 1863; le pont de Saint-Gall sur la Sitter et celui de Berne sur l'Aar; le pont de Cologne sur le Rhin, etc.

Quant aux ponts à trois poutres, il n'en existe qu'un petit nombre, ce système étant mixte et participant des défauts des deux autres. En effet, la poutre intermédiaire, qui peut être considérée comme formée de deux poutres intérieures réunies, assure d'une part la solidarité des deux voies; elle exige d'autre part autant d'assemblages et une aussi grande largeur totale du tablier, des piles et des culées que le système à deux poutres en garde-corps.

Le pont d'Offenbourg dans le duché de Bade, dont l'ouverture est de 63 mètres, est supporté par trois poutres à treillis de $5^m,42$ de hauteur. Le tablier est placé à la base des poutres, et l'ensemble est contreventé à la partie supérieure. Le pont de Kehl sur le Rhin est aussi dans ce genre; on y a été conduit par la nécessité locale de ne donner que $0^m,36$ de hauteur maxima aux pièces transversales de tablier, ce qui exigeait d'en restreindre la portée.

### C. Fonçage par le vide.

Au lieu d'agir sur le tube à l'aide des sonnettes et du dragage, le docteur Pott eut l'idée d'obtenir la descente en agissant sur le sol environnant par voie de désagrégation et d'ameublissement.

Un pilot creux, en fonte ou en tôle, ouvert par l'extrémité inférieure, bien fermé et luté au sommet, étant placé verticalement sur un sol baigné par l'eau, si l'on y fait le vide à l'aide d'une pompe pneumatique reliée au couvercle par un tuyau en cuir, l'eau se précipite dans l'intérieur du tube entraînant avec elle les parties de terre ou de sable qui se trouvent sous la base, et le pilot métallique s'enfonce graduellement par l'effet de son propre poids et de la pression atmosphérique qui agit sur le couvercle supérieur. Cette descente peut être favorisée par le choc dans un terrain légèrement compacte.

Quand le tube est ainsi rempli d'eau et de débris terreux qui s'y déposent, on drague

à l'intérieor, pnis on replace le couvercle et l'on recommence l'opération jusqu'à ce que le pilot ait atteint le sol résistant. Dès lors, après avoir dragué jusqu'au fond l'intérieur du tube, on y coule du béton de ciment de $1^{m},00$ à $1^{m},25$ de hauteur suivant la pression d'ean ; on vide ensuite l'eau qui recouvre cette plate-forme et on achève de bétonner à sec aur le restant de la hauteur.

Ce procédé a été employé, entre autres, au pont de la Medway, à celui du Shannon, au viaduc d'Anglesey, etc. Dans ce deroier ouvrage, la maçonnerie d'une pile est établie sur une plate-forme en fonte supportée par 19 pilots du même métal ayant $0^{m},355$ de diamètre extérieur et $0^{m},037$ d'épaisseur. Exécutées en 1847, ces fondations n'ont éprouvé aucun tassement, quoique la charge supportée soit de plus de 500 toones, y compris le poids d'uo train.

Les pilots employés jnsqu'ici avec ce procédé avaient toujours nn faible diamètre, variable entre $0^{m},35$ et $0^{m},70$.

Le système n'est applicable que dans les terrains de vase, de sable d'alluvions ou de toute autre terre meuble.

### D. Fonçage par l'air comprimé.

C'est en 1845 que l'ingénieur français Triger employa pour la première fois l'air comprimé comme auxiliaire dans les travaux. Chargé de l'exploitation des houillères de Chalonnes, il se servit de ce nouveau procédé pour refouler et mainteoir en dehors des puits d'extraction les eaux des nappes liquides rencontrées dans le forage.

A cet effet, dès que le puits était arrivé au niveau des couches aquifères, il substituait au cuvelage ordinaire un tube métallique formé de tronçons ou anneaux cylindriques de $2^{m},00$ à $3^{m},00$ de diamètre et boulonnés entro cux au fur et à mesure de la descente. Après avoir réuni ainsi un nombre suffisant de cea anneaux pour atteiodre l'orifice du puits, il adaptait au sommet du cylindre une chambre en tôle supprimant hermétiquement la communication entre l'intérieur du tube et l'air extérieor, maia disposée de façon à pouvoir s'ouvrir par une soupape snr l'un ou sur l'autre. Cet appareil, appelé *sas a air* ou *écluse à air*, était traversé par uu tuyau mobile débouchant dans l'intérieur du tube et communiquant par le haut avec une machino soufflante mue par la vapeor.

La machine étant mise en mouvement, l'air comprimé agissait sur l'eau qni occupait le tube, et la refoulait en dehors de celui-ci par-dessous sea bords inférieurs. Les oovriers pouvaient alors pénétrer dans le sas en ouvraut la soupape supérieure, arriver de là daos le tube en fermant celle-ci, en se faisaut ensuite comprimer et en ouvrant la soupape inférieure, puis descendre jusqu'au fond du puits pour y continuer le travail de forage.

A mesnre que l'on dégarnissait le dessoua de la base auoulaire, le tube descendait par l'effet de soo poids et celui d'une surcharge, d'nne pression ou do choc d'un monton. Oo y ajoutait successivement de nouveaux tronçona par la partie supérieure, en dispo-

sant autant que possible tout le système de façon à ne pas démonter le sas.

La méthode Triger a été souvent employée dans l'exploitation des mines, pour éviter l'obstacle des eaux contenues dans des couches perméables, ou pour traverser des sables boulants.

En Belgique, elle fut tentée d'abord en 1857 au charbonnage de la Louvière. Il s'agissait de traverser un banc de gravier compacte et caillouteux recouvert d'une couche de sable boulant aquifère. Le sas à air inventé par l'ingénieur Colson (1) joignait à une grande simplicité une résistance suffisante à la pression de l'air comprimé. Le fonçage s'opérait par la pression exercée au moyen de fortes vis, qui prenaient leurs points d'appui contre le boisage de la partie supérieure du puits.

La première application de l'air comprimé aux fondations tubulaires a été faite en 1852, par un constructeur anglais, M. Cubitt, dans l'exécution des travaux du pont de Rochester.

Ce pont, entièrement en maçonnerie, repose sur 2 piles. Chacune d'elles est élevée sur une plate-forme métallique soutenue par 14 pilots en fonte de 2 mètres de diamètre et remplis de béton.

Par suite de la légèreté des ponts en fer, on apporta quelques modifications au système précédent. Ainsi, en 1857, dans l'établissement du pont de Mâcon, le nombre des pilots fut réduit à 3 par pile, mais leur diamètre fut porté à 3 mètres; au lieu de les arrêter au niveau de l'étiage pour y monter de la maçonnerie, on les éleva jusqu'à la hauteur du tablier qu'ils soutiennent. Après avoir été bétonnées, elles furent reliées entre elles par des panneaux en fonte.

Cette dernière disposition fut aussi appliquée, en 1859, au pont de Moulins sur l'Allier.

Chaque pile de cet ouvrage se compose de 2 tubes en fonte, ayant 2 mètres de diamètre en haut et $2^m,50$ sous l'eau (fig. 940). Ces tubes sont formés de tronçons ou anneaux, de 1 mètre de longueur, boulonnés intérieurement et remplis de béton. Ils sont reliés par un châssis en fonte et tôle, et supportent sur leurs chapiteaux les longerons en fer du pont par l'intermédiaire d'une plaque d'appui en fonte reposant sur une base en pierre de taille.

Le fond du lit de l'Allier se compose, en cet endroit, d'une couche supérieure très-mobile de sables purs d'alluvions, ayant en moyenne 6 mètres d'épaisseur; d'une bande très-mince de graviers argileux; puis d'une assise puissante de marne compacte avec concrétions calcaires, qui est inaffouillable et d'une grande résistance.

Après avoir établi un pont de service et un échafaudage très-élevé avec planchers à l'emplacement de la pile, on a monté, à l'aide d'une grue roulante, un grand nombre de tronçons qu'on boulonnait entre eux et dont on lutait avec soin les joints.

L'épaisseur des tubes d'amont est de $0^m,05$; pour ceux d'aval, qui doivent présenter

(1) *Annales des travaux publics de Belgique*, t. XVIII.

moins de résistance aux chocs éventuels, l'épaisseur a été réduite à 0m,025. Afin de faciliter la pénétration du tube dans le terrain, l'anneau du fond était en fer et formait couteau ; il n'avait que 0m,01 d'épaisseur et 0m,40 de hauteur.

On descendit peu à peu jusqu'au lit la partie montée, en employant un système de chaînes et de forts vérins. Puis on surmonta le tube de l'écluse ou sas à air.

Le sas avait 2 mètres de hauteur sur autant de diamètre (fig. 941). Une machine soufflante, mue par la vapeur et placée sur un bateau voisin, communiquait avec la chambre de travail, ou partie inférieure du tube, à l'aide d'un tuyau en cuir adapté à l'une des ouvertures *a* ou *b* de la collerette du sas. La communication de celui-ci avec l'extérieur ou avec la chambre de travail s'opérait par deux soupapes, de 0m,70 de diamètre, disposées de façon à s'ouvrir aisément quand elles étaient soumises à une pression égale sur leurs deux faces. Deux petits clapets ou robinets permettaient d'introduire dans le sas, soit l'air extérieur, soit l'air comprimé du tube.

Lorsqu'une brigade avait terminé son travail, elle remontait dans l'écluse à air, fermait et lutait la soupape inférieure, et mettait l'air du sas en équilibre de pression avec l'extérieur afin de pouvoir monter au jour. La brigade suivante ayant pénétré dans l'écluse et fermé hermétiquement la soupape supérieure, elle se comprimait en ouvrant le clapet inférieur; l'équilibre de pression une fois établi, la soupape de communication avec la chambre de travail s'ouvrait facilement, et les ouvriers y descendaient par des échelles.

Les déblais s'enlevaient dans des seaux en tôle, au moyen d'un treuil à engrenages placé dans la chambre à air. Lorsque celle-ci en renfermait un nombre suffisant, on la mettait en communication avec l'extérieur par la manœuvre préalable de la soupape inférieure et du robinet supérieur; les déblais s'enlevaient alors à l'aide d'un second treuil établi sur un échafaudage au-dessus du sas.

Par suite du frottement latéral et surtout de la pression considérable que l'air comprimé exerce contre la base de l'écluse à air, pression qui croît avec la hauteur d'eau à équilibrer, les colonnes tubulaires en général ne descendent pas sous l'action de leur poids à mesure qu'on déblaye sous l'anneau inférieur; parfois même ils sont exposés à des soulèvements. Il faut alors avoir recours à une pression auxiliaire à l'aide d'une surcharge, ou bien, soit qu'il n'en résulte aucun inconvénient, soit en cas de nécessité absolue, à la détente partielle ou complète de l'air comprimé, c'est-à-dire à l'inondation provisoire de la chambre de travail, lorsqu'on traverse une couche perméable ou aquifère.

Au pont de l'Allier, tant qu'on s'est trouvé dans les sables mobiles supérieurs, on a eu recours à une surcharge de plaques en fonte disposées sur le sas et sa collerette; l'on évitait ainsi l'aspiration violente des sables qu'aurait produite une détente et leur irruption gênante dans la chambre de travail. Arrivés dans la couche de marne compacte, on a pu, sans grand inconvénient, faire usage de détentes partielles pour produire la descente, après avoir, chaque fois, dégarni de 0m,50 à 0m,60 sous le couteau.

Comme il se produit toujours une certaine diminution dans la tension de l'air inférieur quand on comprime le sas à air, il est nécessaire que le tube présente toujours la plus grande capacité possible par rapport à celle du sas. La salubrité de la chambre de travail l'exige aussi, car l'air s'y échauffe rapidement par les lampes et la pression. Il faut donc, au début, monter ce dernier le plus haut possible. Au pont de Moulins, on a ajouté aux tubes les moins longs quelques anneaux supplémentaires destinés uniquement à prolonger la colonne et à élever ainsi l'écluse; pour les longs tubes qui devaient arriver à de grandes profondeurs, l'opération du fonçage a été reprise à deux fois; le sas a été démonté vers le milieu de la descente et remonté sur de nouveaux anneaux, à cause de la trop grande hauteur qu'il aurait fallu donner dès le commencement à la colonne tubulaire au-dessus des châssis destinés à la guider.

Des dispositions analogues aux précédentes avaient été employées, en 1855, pour la construction du pont de Benha sur le Nil, au chemin de fer d'Alexandrie au Caire. Cet ouvrage a été exécuté par des ingénieurs anglais, sous la haute surveillance de M. R. Stephenson.

Ces divers procédés présentent néanmoins quelques inconvénients sérieux que l'on peut éviter en modifiant le sas à air, et en donnant à l'ensemble de la colonne à foncer un poids suffisant pour vaincre la sous-pression et les frottements latéraux.

Les dispositions suivantes, adoptées en 1861 au pont d'Argenteuil sur la Seine, réalisent convenablement ces dispositions.

Chaque pile est composée de 2 colonnes cylindriques en fonte, remplies de béton et reliées à la partie supérieure par un entretoisement en fer. Sous l'eau, elles ont $3^m,60$ de diamètre; celui-ci n'est que de $3^m,20$ au-dessus.

Chaque colonne tubulaire est formée d'anneaux de $1^m,00$ de hauteur, ayant $0^m,05$ d'épaisseur sous le raccordement conique et $0^m,038$ au fût supérieur.

Le premier anneau de la base, dit *anneau coupant*, est en fonte et taillé en biseau; il a $0^m,055$ d'épaisseur, de façon à dépasser de $0^m,005$ les autres anneaux afin de mieux leur frayer un passage.

Voici comment s'opère le fonçage d'une colonne tubulaire.

Le plancher inférieur de l'échafaudage étant percé de deux grandes ouvertures carrées, au droit de l'emplacement des tubes, on place, en travers de l'une d'elles, deux fortes poutres en bois, sur lesquelles on monte les deux anneaux inférieurs et l'anneau coupant. A l'intérieur, on établit une armature, ou cage conique, en fonte, composée de grandes et de petites jambettes *a* et *b* (fig. 942), alternant entre elles et reliées par deux couronnes *c*.

La hauteur de la cage est de $1^m,95$; la couronne supérieure laisse une ouverture de $1^m,50$, et le pied des jambettes s'appuie sur la bride du premier joint des anneaux.

Entre cette armature et la paroi du tube, on établit un revêtement en maçonnerie de moellons très-durs et de mortier de ciment de Portland ou autre, appareillés en voûte circulaire, mais dont le parement intérieur du côté de la paroi n'est que grossiè-

rement piqué. L'intervalle entre ce parement et la colonne est ensuite rempli avec du béton de ciment.

L'anneau coupant et la cage conique constituent la chambre de travail; sa hauteur totale est donc de 3 mètres.

Le tout étant ainsi disposé, on le suspend, par des chaînes extérieures, à 4 forts vérins fixés dans le haut de l'échafaudage; on enlève les deux poutres mises en travers et on laisse descendre le système dans l'eau par l'ouverture carrée du plancher inférieur, mais de façon que le bord supérieur demeure au-dessus de l'eau.

On monte alors le quatrième anneau de $1^m,00$, et on raccorde la chambre conique à un cuvelage central en bois, à l'aide d'un bâti tronconique intermédiaire en fer. Au pont d'Argenteuil, ce puits central avait $1^m,10$ de diamètre.

Après avoir complété le remplissage en béton, on laisse descendre peu à peu la colonne, en montant successivement d'autres anneaux jusqu'à ce que le pied atteigne le fond de l'eau dans lequel il pénètre plus ou moins en vertu du poids. On peut alors vérifier si le tube occupe bien la place fixée, et l'établir parfaitement. Cela fait, on continue à monter des anneaux et à bétonner dans l'intérieur, jusqu'à ce que l'on puisse supposer qu'après un enfoncement de quelques mètres, le poids total de la partie de colonne assemblée, diminué du poids de l'eau déplacée, sera encore supérieur à la sous-pression due à l'air comprimé, augmentée des frottements latéraux sur cette profondeur; l'hypothèse est limitée par cette condition, que les chaînes ne peuvent guère être chargées d'ordinaire de plus de 20,000 à 25,000 kilogrammes.

On surmonte alors le tube d'une écluse à air, et on procède au fonçage par l'air comprimé.

Après trois ou quatre mètres de fiche dans le sol, on peut enlever les chaînes et les vérins; on se borne dès lors à étayer le tube vers le haut pour l'empêcher de pencher et de se diriger obliquement.

Lorsque la pénétration est devenue telle, que le poids du système soit insuffisant pour vaincre les résistances et qu'il soit impossible de bétonner davantage sans risquer d'écraser le bâti de la chambre de travail, on opère le fonçage par la détente, en lâchant peu à peu l'air comprimé.

Le pied de la colonne étant arrivé à terrain, on procède, comme suit, au remplissage.

On nettoie et on égalise d'abord le fond, en ayant la précaution d'activer en même temps le jeu de la machine soufflante pour bien chasser les eaux. Puis on dispose autour de la chambre de travail 12 à 14 tubes en fer, de $0^m,08$ de diamètre et de 2 mètres de longueur, attachés contre la paroi en maçonnerie et débouchant près du sol; ils ont pour objet de maintenir la pression contre le pourtour de l'anneau coupant jusqu'après la prise du bétonnage de la chambre. On exécute alors ce bétonnage par couches alternatives, les unes en béton de ciment ayant $0^m,30$ environ d'épaisseur, les autres en ciment pur de $0^m,10$, ces couches étant reliées avec soin aux parois de l'anneau coupant et de la chambre conique. Quand ce remplissage est arrivé au niveau

supérieur des tubes en fer, soit environ à 2 mètres de hauteur, on injecte dans ces tubes du ciment pur, la couche inférieure n'ayant plus à craindre d'être soulevée par les eaux avant son durcissement complet.

Le bétonnage est alors élevé jusqu'à la base du puits central.

Pour terminer l'opération, il reste à bétonner l'intérieur du tube, ce que l'on peut par conséquent exécuter à sec.

Dans les travaux de l'espèce entrepris avant 1861, la disposition du sas à air, quant à la manœuvre des soupapes, produisait une interruption dans le service d'extraction des déblais chaque fois qu'une brigade remontait à jour, ou bien lorsque l'écluse étant suffisamment remplie de seaux chargés, il s'agissait de transporter au dehors.

Une modification importante, sous ce rapport, fut apportée au sas employé au pont d'Argenteuil. La nouvelle écluse à air se composait (fig. 943) de deux cylindres concentriques en forte tôle; l'un avait 1m,40 et l'autre 3m,20 de diamètre. Ils étaient assemblés sur une base commune. Le dôme du cylindre intérieur formait saillie, et recevait le tuyau de la machine soufflante; ce cylindre, constamment soumis à la pression, était en communication permanente avec la colonne tubulaire par une ouverture elliptique, très-favorable à la manœuvre des bennes. Un diaphragme vertical divisait en deux parties égales le cylindre annulaire extérieur; chacune de ces deux chambres ainsi formées était percée de 2 portes, donnant, l'une sur le cylindre central, l'autre sur l'atmosphère extérieure. Par cet ensemble de dispositions, l'on pouvait donc conserver la communication entre le fond du tube et l'une des chambres annulaires pendant que l'autre était ouverte sur l'extérieur.

Le montage des déblais se faisait avec des bennes de la contenance de 20 litres. Une machine à vapeur de la force d'un cheval, placée sur le dôme du cylindre extérieur, donnait le mouvement à un arbre qui, au moyen d'un stuffing-box, pénétrait dans la partie saillante du cylindre central.

Ces diverses modifications dans le sas à air et dans la conduite du travail ont procuré les avantages suivants :

1° Le bétonnage préalable de la chambre conique et d'une partie du tube, en faisant descendre naturellement la colonne, a apporté une grande économie de temps et de main-d'œuvre;

2° Par suite de ce remplissage, le centre de gravité de l'appareil tubulaire étant placé vers le bas, la colonne était plus facile à diriger, elle ne tendait plus à se déverser comme lorsqu'il était nécessaire de la surcharger au sommet ou d'exercer en ce point une pression quelconque;

3° Le dispositif de la chambre à air apportait encore un surcroît de rapidité, et par conséquent d'économie dans le travail.

Avant les perfectionnements apportés depuis 1860 dans le lestage des tubes et dans la composition de la chambre à air, il arrivait souvent que, malgré les poids additionnels dont on chargeait le sommet des colonnes, celles-ci s'enfonçaient à peine, par

suite de la résistance due au frottement que développait la pression du terrain sur leurs parois.

Parfois aussi il est arrivé que des tubes ont éprouvé tout à coup des soulèvements notables, ou bien qu'en opérant le fonçage d'une colonne on a dérangé celles qui étaient déjà enfoncées à terrain.

Ces inconvénients se sont présentés même pour des tubes n'ayant que 10 à 12 mètres de longueur totale.

Enfin, le système suivi n'ayant pour chaque colonne qu'une seule écluse à air, il y avait nécessité d'interrompre le travail à chaque manœuvre de brigade ou à l'évacuation des bennes de déblai; il fallait en outre démonter une ou deux fois le sas pendant l'opération, suivant la profondeur de fiche; circonstances qui produisaient des arrêts dans le jeu des machines et dans le travail; de là, dépense superflue et une perte de temps toujours très-nuisible dans les travaux hydrauliques.

Les modifications apportées dans la construction du pont d'Argenteuil laissent encore à désirer, sous ce dernier rapport, puisqu'elles n'évitent pas le démontage du sas. D'un autre côté, l'emploi des colonnes tubulaires en général exige, dans certains cas, une plate-forme supérieure, outre qu'il est toujours indispensable de les relier fortement entre elles; néanmoins, la solidarité n'est pas complète puisqu'elle dépend d'une différence, même très-légère, dans les tassements.

Aussi préfère-t-on, surtout dans les constructions importantes, faire usage de grands caissons en tôle, dont le nombre et les dimensions varient avec l'étendue de l'ouvrage à fonder.

Ces caissons, de plusieurs mètres de hauteur, sont ouverts à la base et constituent les chambres de travail. Ils sont d'ordinaire surmontés d'un cuvelage ou caisson en bois, qu'on remplit de béton au fur et à mesure que s'opère le fonçage. A partir du point destiné à se trouver en définitive à $0^m,50$ ou $0^m,60$ sous le niveau de l'étiage, le cuvelage est étanche dans la partie supérieure, afin qu'on puisse épuiser et construire à sec la base de la nette maçonnerie.

Chaque caisson, vu son étendue, peut être muni de 3 cheminées; l'une pour le service des déblais, qui s'exécutent par dragage à niveau plein, c'est-à-dire sans interruption; les deux autres, pour le passage des ouvriers et la compression de l'air intérieur, et disposées pour se relayer à chaque surbaussement partiel de l'une d'elles.

Arrivé à terrain, on remplit le caisson lui-même, en y coulant du béton par les cheminées; on démonte ces dernières et on bétonne le vide qu'elles laissent dans le massif du cuvelage.

On a reconnu l'avantage d'employer plus d'un caisson pour la fondation d'une pile ou d'une culée de pont. Sa grande surface et son poids considérable, résultant de la nécessité d'une puissante membrure, présenteraient de sérieuses difficultés pour le descendre et le manœuvrer de façon à réaliser un enfoncement régulier dans tous les sens, et à éviter qu'il se produisît un déversement, une désagrégation du bétonnage

supérieur. D'un autre côté, ce caisson devrait avoir une résistance considérable pour supporter, pendant toute la descente, un cube énorme de béton jusqu'au moment où l'on pût le bétonner lui-même.

Les caissons d'une même pile doivent être enfoncés en même temps et aussi régulièrement que possible; par cette descente progressive, on n'a plus à craindre leur soulèvement partiel ou leur dérangement réciproque.

Quand la hauteur de l'eau et la profondeur de pénétration sont très-grandes, la surcharge en béton serait trop forte si on l'élevait, au fur et à mesure de la descente, jusqu'à 0m,50 sous le niveau de l'étiage. Dans ce cas, on calculera la limite ou hauteur de cette surcharge de façon à ne pas fatiguer la membrure du caisson, et on commencera à cette limite les parois étanches du cuvelage.

Les fondations du pont de Kehl sur le Rhin constituent, jusqu'à ce jour, le travail le plus important et le plus remarquable qui ait été exécuté sur caissons tubulaires et par l'air comprimé (1). Les piles et culées ont été faites en 1858-59. L'avancement moyen du fonçage a été de 0m,45 à 0m,50 en 24 heures. Les caissons ont été assis sur le gravier normal du fleuve, à 20 mètres au-dessous de l'étiage, ou à 22 mètres sous le niveau des eaux de l'époque.

Après avoir établi un pont de service, portant deux voies ferrées, on a construit, à l'emplacement de chaque pile, un vaste hangar abritant deux planchers espacés de 4m,40 (fig. 944).

Le plancher supérieur était au niveau du pont de service; il portait deux grues destinées aux manœuvres des sas et des cheminées, ainsi que les vérins nécessaires à la suspension du système tubulaire.

L'on employa, pour chaque culée, 4 caissons de 5m,80 de longueur sur 7m,00 de largeur et 3m,60 de hauteur; le nombre de caissons, par pile, était réduit à 3, ayant chacun 5m,50 de longueur, autant de largeur et 3m,60 de hauteur.

Chaque caisson était garni de 3 cheminées, dont 2 de 1m,00 de diamètre, à air comprimé, avec écluse supérieure pour le passage des ouvriers, afin que l'une de deux pût toujours fonctionner et que l'on évitât ainsi toute perte de temps; l'autre, centrale et à section elliptique de 1m,50 sur 2m,20, aurait pu être analogue aux précédentes, dans le cas où l'on eût monté les déblais à l'aide de bennes; mais on jugea préférable de la faire déboucher à l'air libre, en la laissant pleine de l'eau repoussée par l'air comprimé, et en y faisant fonctionner, à niveau plein, une drague-noria dans les godets de laquelle les ouvriers n'avaient plus qu'à pousser les déblais.

Ces 3 cheminées étaient disposées de manière à pouvoir être démontées à la fin du travail.

Ces caissons ont d'abord été amenés et assemblés sur des poutres mobiles placées en travers d'une ouverture ménagée dans le plancher inférieur. Après qu'on les eut attachés

(1) *Pont sur le Rhin à Kehl*, par *E. Vuigner* et *Fleur Saint-Denis*. Paris, 1865.

par des chaînes aux 4 vérins du plancher supérieur, et qu'on eut enlevé les poutres d'appui, on commença la descente des caissons, préalablement surmontés d'une partie du cuvelage dans les endroits où la profondeur d'eau dépassait 3m,60.

On procéda alors au coulage du béton de surcharge, en même temps qu'on commençait le fonçage par l'air comprimé, à l'aide des sas et de la noria.

Deux machines à vapeur, de 16 à 20 chevaux, fournissaient l'air comprimé; elles ne marchaient pas simultanément. L'air était refoulé dans un tuyau fixe en cuivre, de 0m,35 de diamètre, sur lequel s'embranchaient des tuyaux en caoutchouc allant vers la machine ou vers les sas. La noria de chaque caisson était mise en mouvement par deux machines de 10 chevaux.

Chaque écluse à air avait 3m,00 entre son plafond et son plancher qui, tous deux, étaient percés d'une ouverture de 0m,65 à soupape. L'air était introduit directement dans l'écluse au moyen d'un clapet de sûreté qu'il ouvrait et fermait de lui-même; de cette manière, il ne pouvait sortir du sas ni du caisson en cas de rupture du tuyau qui l'amenait ou lors d'un arrêt de la machine. Chaque écluse était en outre munie d'un télégraphe vers l'extérieur. E. R.

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-DEUXIÈME LEÇON.

### DES VIADUCS ET PONTS SUSPENDUS EN CHAINES DE BARRES DE FER ET EN CABLES DE FIL DE FER.

*Considérations générales sur les avantages et les inconvénients des constructions suspendues.*

Ce système de ponts, qui ne date en Europe que d'une vingtaine d'années et dont l'origine est américaine, a été l'objet d'un traité théorique et pratique de M. Navier, d'un mémoire de M. l'ingénieur Lemoyne sur les conditions d'établissement, de plusieurs mémoires de MM. Séguin, Vicat et Émile Martin. L'on trouve de plus, dans d'autres mémoires particuliers français et étrangers, et dans les publications des *Annales des ponts et chaussées* de 1831 à 1838 inclusivement, les descriptions historiques de beaucoup de constructions de ce genre faites dans ces derniers temps, des recherches qui s'y rattachent, et notamment celles de M. l'ingénieur Julien. On renvoie à ces documents pour les détails qui sortiraient des limites du présent résumé.

Pl. 51. Fig. 263. On fera remarquer que ce système de suspension est susceptible d'une foule d'applications, notamment pour des conduites d'eau, pour des ponts aqueducs et ponts canaux,

pour supporter des toitures de bâtiments civils; cette dernière application se fait dans ce moment, au port de Lorient, pour une toiture de 40 mètres de portée entre les points d'appui.

Les viaducs et ponts suspendus, quelle que soit la matière employée à leur confection, que ce soient des cordes, du bois ou du fer, sont établis d'après la propriété qu'un polygone funiculaire, une courbe caténaire ou parabolique en équilibre ont de transformer des pressions verticales en tensions longitudinales, quand les liaisons des articulations ont une force suffisante. Comme les matériaux qu'on vient de citer offrent précisément une résistance beaucoup plus grande à la traction qu'à la compression ou à la flexion, on entrevoit immédiatement les avantages du nouveau système.

Il se prête d'ailleurs à la vérification de chacune de ses parties, à leur facile ajustage et mise en place, enfin à leur réparation. Sa rigidité est d'autant plus grande que le rapport de la flèche du polygone à l'ouverture totale est plus considérable; il s'adapte particulièrement au passage d'ouvertures très-larges lorsqu'elles exigent que la *voie du pont soit placée à une grande hauteur*.

Dans le système de suspension, il n'y a pas de poids *improductifs* : comme dans les ponts en maçonnerie, où l'impossibilité pratique de proportionner par des évidements les volumes des pierres à leurs fonctions de résistance, et le défaut d'homogénéité de cette espèce de matériaux, forcent d'exagérer de beaucoup les dimensions nécessaires ;

Comme dans les ponts en bois, où le dépérissement graduel oblige également à renforcer les dimensions auxquelles on pourrait sans cela se restreindre ;

Comme dans les ponts fixes en fer, où, malgré les évidements des pièces en fonte et l'emploi judicieux du fer forgé, on est encore forcé de faire fonctionner ces matériaux dans des directions peu favorables à leur plus grande résistance.

Mais ces avantages sont accompagnés aussi d'inconvénients. Le déplacement d'une charge mobile éventuelle modifie les conditions d'équilibre, et la forme du polygone funiculaire ou de la courbe caténaire est variable ; de là des ondulations dans la voie d'un pont suspendu. Si cette charge tout en cheminant est animée aussi de vitesse dans le sens vertical, elle donne lieu dans ce sens à des chocs et à des vibrations qui, en s'accumulant, peuvent acquérir une assez grande intensité.

Les alternatives de froid et de chaud, modifiant les longueurs du polygone ou de l'arc caténaire, donnent lieu à des abaissements ou des élévations de la voie du pont. Enfin ces ponts présentant une grande surface aux ouragans, peuvent osciller violemment comme un pendule et même être soulevés et projetés.

Ces ouvrages sont aussi exposés aux attaques de la malveillance, puisqu'il suffit quelquefois d'une légère incision pour affaiblir, dans une proportion considérable, la résistance des fers. La rouille vient d'ailleurs, malgré toutes les précautions, atténuer la force de toutes leurs parties; en sorte qu'ils exigent une surveillance bien plus assidue que les ponts fixes en maçonnerie, en bois ou en fer.

Enfin les tensions que ces ponts exercent sur leurs points d'appui et sur les points

d'attache des chaînes imposent une grande solidité dans les fondations et maçonneries de support.

Sous le rapport de la dépense, ou suppose en général qu'uu viaduc ou pont suspendu est plus économique qu'un pareil ouvrage eu maçonnerie, ou avec travées en fer, et qu'il ressort à peu près au même prix qu'un pout en charpente avec piles et culées en maçounerie. L'origine récente de la plupart des viaducs et ponts suspendus existants ne permet point du reste d'être fixé ni sur leur durée comparée à celle des constructions qu'ou vient de citer, ni sur les avantages de telle ou telle espèce de matériaux employés à la suspension.

Dans les premiers essais de la suspension des ponts, les plates-formes de communi-
Pl. 52. Fig. 266. cation portaient sur la courbe caténaire, en sorte que les fardeaux descendaient et montaient par une pente variable d'un point à l'autre. Outre cet inconvénient, il y avait dans cette disposition peu de stabilité, et la transmission des charges et des chocs, se faisant sans intermédiaire anx chaînes de suspension, en compromettait la durée.

Ce système, qui appartenait à l'enfance de l'art, n'est plns pratiqué que dans les contrées peu civilisées.

Un viaduc ou pont suspendu se compose aujourd'hui d'une plate-forme en charpente horizoutale, ou à légère pente longitudinale, tantôt *suspendue*, par des tirants verticaux en fer, à un ou plusieurs systèmes de polygones funiculaires, ou arcs verticaux à peu près paraboliques fixés à deux points de rive, tantôt *portant sur* ces polygoues et arcs par l'intermédiaire de colonnes pleines ou creuses en fonte.

On a classé, parmi les ponts suspendus, des plates-formes portées par une série de tirants en fer obliques, lesquels viennent s'attacher à des snpports fixes aux extrémités de chaque arche, et à un niveau plus ou moins élevé au-dessus de ces plates-formes. Ces tirauts de fer ont été d'ailleurs projetés, tantôt divergeuts dans des plans verticaux,
Pl. 52. Fig. 267. depnis la tête des supports jusques à la plate-forme, tantôt parallèles entre eux.

Les polygones funicnlaires ou arcs catéuaires sont complets ou *partiels* entre leurs
Pl. 52. Fig. 268. appuis; ainsi ces appuis peuvent être au même niveau (figures 268 des planches), et alors le milieu de l'intervalle est le bas dn polygone ou arc caténaire ; ou bien ces appuis peuvent être à des niveaux différents, et alors le bas de l'arc ou du polygoue se rapproche de celui des appuis de rive qui est le moins élevé : quaud il est sur cet appui lui-même, la différeuce de niveau des denx appuis est précisément égale à la flèche de l'ouverture.

Conditions principales de la suspension. La hauteur de la plate-forme du pout, ou, quand elle est au-dessns des arcs, la hauteur du sommet des arcs, doit être réglée, au reste, comme pour les ponts fixes, par les snjétions du passage des transports en dessous.

Les chaînes peuvent être *amarrées* aux appnis, qui forment alors culées, ou seule-
Pl. 52. Fig. 269. ment passer par-dessus pour se lier, soit aux chaînes des arches contiguës, soit à des chaînes d'*amarrage* arrêtées sur les rives.

Eufin les appuis intermédiaires de plusieurs arches consécutives peuvent ici, comme

dans les piles des ponts fixes, être assujettis à fonctionner comme des culées, c'est-à-dire à résister à la tension d'une chaîne, indépendamment de la tension opposée à la chaîne suivante.

Le choix entre ces diverses combinaisons, la largeur et la flèche à donner aux arches des ponts suspendus, dépendent d'une foule de considérations qui excluent toute règle générale.

Les formules pour la tension maximum dans le sens des arcs, et la tension horizontale au sommet des appuis sont, d'après M. Navier, $T = \frac{P}{4}\sqrt{\frac{d}{4f^2} + 1}$, et $Q = \frac{Pd}{4f}$, où P est la charge totale maximum sur l'arc, $d$ l'ouverture et $f$ la flèche.

Si l'on suppose que la charge permanente et la charge éventuelle (celle-ci est ordinairement comptée pour 200 kilogrammes par mètre carré) sont uniformément réparties, on voit que plus le pont sera long, plus, à égalité de flèche, la tension sera grande, et plus la force de toutes les parties de la suspension, des appuis et des points d'amarrage devra être considérable ; mais aussi l'on pourra faire des économies sur le nombre des appuis ; et, suivant la nature du terrain, suivant le prix des ouvrages de fondation et de maçonnerie d'une localité, cette économie pourra compenser et au delà l'augmentation de dépense indiquée ci-dessus.

A égalité d'ouverture, une grande flèche de courbure diminue les tensions et toutes les dépenses qui en découlent ; mais elle augmente le développement des arcs ; car la formule qui donne la longueur totale d'un arc complet est $S = d\left(1 + \frac{1}{6}\left(\frac{4f}{d}\right)^2\right)$ où $d$ est l'ouverture et $f$ la flèche. Cette flèche considérable accroît aussi, d'autre part, les vibrations dans le sens vertical. En effet, la formule qui donne l'augmentation de flèche pour un poids $p$ additionnel est $\delta = \frac{\Pi}{2p} f$, où $\Pi$ est le poids primitif, $f$ la flèche primitive. Enfin les oscillations dans le sens transversal sont aussi plus fortes.

Jusqu'ici ces diverses considérations ont prédominé ; car le maximum de flèche donné aux viaducs et ponts suspendus exécutés a été d'environ $\frac{1}{7}$, et le minimum de $\frac{1}{25}$.

Au pont de Fribourg, l'ouvrage jusqu'ici le plus considérable en ce genre, la flèche est de $\frac{1}{14}$ pour une ouverture de 208 mètres. C'est, au reste, le rapport qui est le plus ordinairement suivi.

Le système des demi-arcs caténaires, quand il n'y a point de pile intermédiaire, ou quand il n'y en a qu'une, et que de son sommet descendent deux demi-arcs caténaires, épargne un support et une portion de chaîne d'amarrage ; mais, comme la flèche est doublée par le fait, la tension des chaînes et toutes les dépenses qui en résultent sont doubles de ce qu'elles seraient si, à égalité de flèche, les arcs étaient complets dans les mêmes intervalles. Pl. 32. Fig. 268.

Le choix entre l'établissement d'appui faisant culées, ou seulement d'une dimension suffisante pour résister aux tensions opposées, dépend également de circonstances

locales. Il est évident, par exemple, qu'on prendrait le premier parti, si en arrière des appuis de rive il n'y avait pas possibilité de trouver des points d'amarrage solides pour les chaînes de retenue. Quant aux piles intermédiaires aux rives, il y aurait peut-être lieu à régler leurs dimensions pour l'hypothèse où les chaînes de chaque côté seraient indépendantes et attachées chacune à la pile, toutes les fois que *la charge variable et amovible serait dans une forte proportion relativement à la charge permanente.*

Ce sont encore les circonstances locales qui détermineront le choix à faire entre deux autres systèmes, l'un où les chaînes de suspension de chaque côté d'un appui sont attachées à cet appui, et l'autre où ces *chaînes sont liées l'une à l'autre et peuvent glisser sur l'appui en surmontant le frottement.* La première disposition a été adoptée pour le grand pont de Bangor Ferry, sur le détroit de Menay, entre l'île d'Anglesea et la terre ferme, et pour les ponts exécutés par le célèbre Brunel pour l'Ile-Bourbon (fig. 270 et 271 des planches).

Pl. 52 et 53 Fig. 270 et 271.

La seconde a été préférée généralement dans les ponts les plus récents, et notamment aux ponts de Langon, d'Argentat, de Fribourg, parce qu'elle remédie aux variations de tension qui résultent du passage des charges mobiles, et aux abaissements et rehaussements des chaînes résultant des variations de température. Elle exige toutefois, pour réduire le frottement, l'emploi, au sommet de l'appui, de poulies fixées sur des axes, ou de rouleaux de friction cheminant dans une ornière.

Pl. 54. Fig. 272.

On a cherché à atteindre le même but en faisant des supports en bois ou en métal, mobiles autour de leur pied, et pouvant par leur tête pencher tantôt vers le pont, tantôt vers les points d'amarrage. Cette dernière disposition a été suivie dans le pont de Bry-sur-Marne, d'une seule arche de 76 mètres d'ouverture et d'une flèche moyenne de 6 mètres, exécuté par M. Séguin, et dont la description est insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832.

Pl. 54. Fig. 273.

On renvoie du reste à ce qui a été dit pour les fondations en maçonnerie en général, et pour les fondations en maçonnerie des viaducs et ponts en particulier, pour tout ce qui est relatif à cette partie des travaux des ponts suspendus.

Les points principaux étant réglés pour un pont à deux voies, on peut en supporter la plate-forme soit uniquement par deux systèmes caténaires de tête, soit par un troisième intermédiaire et qui diviserait le pont en deux voies, comme dans les ponts de l'Ile-Bourbon (figures 270 des planches). Dans ce dernier cas, il est essentiel de remarquer que le troisième système intermédiaire pourrait être exposé à une charge double de celle des systèmes de tête, et qu'il en faudrait tenir compte dans ses dimensions, celles de ses chaînes d'amarrage, et dans les zones correspondantes des appuis fixes et des points d'amarrage.

Pl. 52. Fig. 270.

Les ponts suspendus exécutés, surtout hors des villes, sont en général à une seule voie, avec trottoir d'un ou des deux côtés; leur chaussée varie entre 2m,70 et 3m,50, et les trottoirs entre 1 mètre et 1m,30. Dans les villes populeuses, la chaussée est portée à 5m,10, les grands trottoirs à 1m,50.

Pl. 54 Fig. 272.

Dispositions principales des arcs de suspension.

Comme les matériaux de forte dimension, particulièrement les fers, offrent une moindre résistance par unité superficielle que ceux de petit échantillon, que cette résistance y varie davantage du périmètre au centre, que cependant ces fers sont plus chers au poids, ces considérations seules détermineraient à former chaque système de suspension de plusieurs arcs; mais l'on y est conduit en outre par la nécessité de répartir les chances d'accidents, de les rendre moins dangereuses, et surtout de faciliter Pl. 34. Fig. 272. les réparations et renouvellements. Il résulte cependant de cette précaution qu'une plus grande surface est exposée aux altérations causées par le temps, et cet inconvénient est sérieux lorsqu'on emploie, au lieu de chaînes en barres de fer, des faisceaux de fil de fer. Ainsi au grand pont suspendu de Fribourg, il n'y a que deux câbles de Pl. 35. Fig. 274. suspension en fil de fer sur chaque rive; mais les amarrages sont plus subdivisés, et à chaque câble de suspension correspondent cinq faisceaux séparés d'amarrages.

Ainsi, suivant l'ouverture et la flèche des travées, un système de suspension se compose de deux, trois et même d'un plus grand nombre d'arcs caténaires. Ces arcs peuvent être placés les uns à côté des autres, ou les uns au-dessus des autres; et quand il y en a un grand nombre, on adopte à la fois les deux dispositions. Chacune a, du reste, des avantages et des inconvénients faciles à saisir. En effet, si les courbes de suspension sont au-dessus les unes des autres, l'installation des rouleaux sur le sommet des supports est beaucoup moins facile. Si elles sont juxtaposées au sommet, il faut une augmentation de largeur dans la plate-forme *de support*.

Lorsque le tablier du pont, au lieu d'être suspendu aux chaînes et de se trouver au-dessous d'elles, se trouve au contraire au-dessus et porte sur elles par des supports, on peut multiplier les chaînes à volonté, et c'est là un des avantages de ce système, exécuté d'abord en Angleterre sur la rivière la Dee, puis à Genève, par le colonel Pl. 35. Fig. 275. Dufour, sur des dimensions de 18$^m$,40 d'ouverture et environ 0$^m$,65 de flèche. Un autre avantage, c'est celui de dégager les abords du pont, de dispenser des portiques, etc. Mais le centre de gravité de chaque arche y étant beaucoup plus haut relativement aux points d'attache que dans le système de suspension de la plate-forme, ce dernier sera toujours préféré pour les grands arcs caténaires.

Les tiges de suspension, les colonnes de support qui transmettent la charge de la plate-forme aux arcs caténaires, sont disposés de manière à la répartir le plus uniformément possible sur chaque arc du même groupe.

Pour donner au pont plus de stabilité contre les oscillations transversales, on incline quelquefois en dedans les tiges ou colonnes, comme au pont de Fribourg, sauf à augmenter un peu leur force.

Leur attache aux arcs caténaires a lieu ordinairement au point de réunion des parties élémentaires de ces arcs, et leur liaison s'effectue tantôt directement sans intermédiaire avec les petites poutres transversales, tantôt indirectement par une semelle Pl. 35. Fig. 271. longitudinale qui reçoit les abouts de ces poutres; ces poutres ou semelles peuvent d'ailleurs se faire en bois, en fonte ou même en fer forgé.

Afin de diminuer la charge permanente, le plancher est en bois à deux plans croisés et séparés quelquefois par de la *bourre* qui amortit les effets des chocs; mais s'il était en matière plus lourde, il gagnerait de la stabilité contre les oscillations et les vibrations, *toutes les fois que les planchers seraient au-dessous des arcs caténaires*, puisque le centre de gravité du système serait alors plus bas.

Dans le but d'augmenter cette stabilité, surtout contre les ouragans, *même en augmentant la charge permanente*, on a projeté, dans plusieurs ponts, soit des tirants en fer inclinés, soit, comme aux ponts de l'Ile-Bourbon, des chaînes attachées au-dessous de la plate-forme en bois, et venant s'amarrer, autant que possible en divergeant, à la partie des appuis de suspension qui est en contre-bas de la plate-forme.

Pour diminuer l'effet des oscillations horizontales, on pourrait donner au tablier du pont une forme d'égale résistance, en l'élargissant progressivement depuis les extrémités jusqu'au milieu.

On arrive à peu près au même résultat : 1° en enracinant la plate-forme dans ses culées et piles ; 2° par des groupes de tirants en fer diagonaux, placés en dessous de la plate-forme, dans un plan horizontal, dirigés en X, depuis le milieu de chaque arche jusqu'aux extrémités, et se croisant avec les poutrelles transversales et les longrines longitudinales du tablier : cette disposition est analogue à celle des *contrevents* dans les ponts fixes en bois et en métal. Comme dans ces derniers, on a soin du reste de former les parapets de rive par des systèmes de potelets avec croix de Saint-André intermédiaires, reliés avec les pièces inférieures de la plate-forme par des tirants en fer verticaux.

Pl. 55 Fig. 277.

Appuis fixe de suspension.

Les appuis fixes des systèmes de suspension, soit sur les piles, soit sur les rives, doivent présenter des ouvertures pour le passage des voitures : on peut les exécuter en fonte ou en maçonnerie. Ordinairement afin de leur donner plus de masse et de solidarité, on les projette en portiques avec arcades. Pour prévenir les disjonctions horizontales dans les maçonneries, surtout lorsque le temps n'en a pas durci les mortiers, on lie les divers matériaux d'une même assise par des tirants en fer, des dés cylindriques en métal, ou tout autre mode. D'autres tirants et dés verticaux entrelacent les assises successives en hauteur.

Pl. 54 Fig. 272.

On a publié, dans les *Annales des ponts et chaussées*, des expériences sur les déliaisons que des piliers de ponts suspendus sont susceptibles d'éprouver; elles mettent sur la voie des moyens de consolidation à employer. Aux deux culées d'environ 50 mètres de hauteur du pont suspendu en construction à La Roche-Bernard sur la Vilaine, on établit dans la hauteur et par intervalles à peu près égaux, des assises et plates-formes générales d'énormes libages, ou plutôt de pierres de taille smillées, afin de répartir uniformément les charges supérieures et de prévenir l'inégalité des tassements.

Points d'amarrages des arcs de suspension.

Les amarrages des systèmes de suspension en arrière des appuis de rive peuvent être hors de terre ou souterrains. Il est évident que, connaissant leur maximum d'effort, il sera toujours possible d'obtenir une résistance d'inertie équivalente, soit dans le terrain, soit dans des massifs de maçonnerie établis *ad hoc :* la seule difficulté,

dans ce dernier cas, est de rendre les maçonneries bien solidaires. Autant que possible, les directions des amarres doivent former, avec les axes des supports fixes, des angles égaux à ceux que ces mêmes axes font avec les courbes de suspension; tout au moins la résultante des deux tensions doit tomber *dans l'intérieur* de la base du support fixe.

Deux dispositions ont été suivies jusqu'ici pour les amarrages : dans la première, ils se dirigent sans déviation jusqu'aux points d'attache, et il résulte de là quelques économies; mais les matières dont le poids est opposé à la traction, étant placées normalement à la direction oblique des chaînes d'amarrage, perdent, par cette circonstance, une partie de leur poids, qui est employée inutilement en pression. Dans la deuxième disposition, employée notamment aux ponts de Fribourg, d'Argentat, de Genève, les chaînes d'amarrage se dévient pour s'enfoncer verticalement en terre; mais cette déviation exige des poulies ou des rouleaux mobiles dans le coude, et une assiette très-solide *en forme de voûte,* pour porter les pièces mobiles et résister à la résultante des tensions de chaque côté du coude.

Pl. 55. Fig. 278

Pl. 56 Fig. 279.

Pl. 54 et 55. Fig. 273 et 275.

Quand cela est possible, il est utile de relier les maçonneries ou charpentes d'attache des amarrages à celles des culées de rive, de manière que le pont travaille en quelque sorte sur lui-même.

Pour éviter la prompte oxydation des amarrages par l'action de l'humidité souterraine, on les a enveloppés de mortier avec excès de chaux, ou mieux avec une pâte de chaux grasse, dont la mollesse indéfinie rend toujours possibles la visite et la réparation des ouvrages.

On renvoie aux ouvrages indiqués au commencement de ce chapitre, pour connaître les diverses combinaisons d'amarrages dans les viaducs et ponts déjà exécutés, ainsi que les formules de calcul des efforts exercés, des amplitudes d'exhaussement et d'abaissement de la voie du pont, et de la résistance à donner aux diverses parties du pont suspendu.

Matériaux employés dans la suspension

On n'a pas parlé encore des matériaux qui formeraient les systèmes de suspension. Les cordages ne peuvent servir évidemment que pour des ouvrages précaires ou provisionnels. Bien que M. Navier ait indiqué, dans son Traité, l'emploi du bois comme utile dans beaucoup de cas pour former les arcs caténaires, on n'y a pas eu recours, probablement à cause des chances de destruction dans les articulations, du prompt dépérissement de cette matière à l'air, et surtout des grands allongements qu'elle pourrait prendre et qui donneraient lieu à des oscillations considérables sous les charges amovibles.

Restent les métaux : le cuivre a été rejeté malgré sa durée plus grande, mais à raison de son prix élevé, de sa résistance moindre que celle du fer sous le même poids; tout au plus a-t-on fait en fil de laiton les suspensions de quelques passerelles.

Une controverse très-longue s'agite encore sur la préférence à donner au fer en barres sur les faisceaux de fil de fer.

Les partisans du dernier système ont objecté contre le premier : 1° plusieurs acci-

Avantages et inconvénients respectifs des chaînes en fer et des câbles en fil de fer.

dents de rupture, soit lors des épreuves, soit après l'exécution, soit après les épreuves des ponts; 2° la force du fer en barres moindre, sous un poids déterminé, que celle du fil de fer et surtout la variabilité de cette force de la surface au centre de la même barre, et d'une barre à l'autre; 3° le moindre allongement du fer en barres avant l'altération de son élasticité et avant sa rupture; 4° la difficulté de faire des épreuves partielles sans altérer le fer par le fait même de l'épreuve, en sorte que cette dernière apprend réellement *ce que le fer était, et non ce qu'il sera*; 5° la difficulté, pour des ponts d'une grande ouverture, de placer les groupes de chaînes de chaque rive; 6° enfin le levage plus facile des câbles en fil de fer.

Les partisans du système de chaînes avec barreaux de fer répondent : 1° que les accidents signalés ont tenu à d'autres causes qu'à l'emploi de ce système, et notamment à l'absence de toute épreuve préalable; 2° que les *fers doux*, étant employés exclusivement pour les systèmes de suspension, remédient à l'inconvénient d'un excès de rigidité; 3° que les fils de fer de diverses grosseurs présentent aussi beaucoup d'anomalies dans leur résistance par unité superficielle; 4° qu'il est très-difficile d'obtenir que, dans les faisceaux de fil de fer, les fils travaillent également, soit qu'on les range *par nattes*, soit qu'on les dispose circulairement; 5° que les faisceaux, même enduits avant leur réunion et défendus contre les pluies et rosées par une manche en tôle, et enveloppés d'une gaîne de mastic qui doit interdire le contact de l'air, se rouillent beaucoup plus que des barres de fer de même force.

L'industrie particulière, à laquelle on a attribué quelquefois plus de clairvoyance qu'aux administrations publiques, a eu recours tantôt à l'une, tantôt à l'autre espèce de matériaux; ainsi, au grand pont de Fribourg on a employé le fil de fer. Il a été adopté également pour le pont de La Roche-Bernard, dont l'exécution est faite par l'administration des ponts et chaussées, et qui sera le plus grand pont suspendu en Europe. Cependant dans cette localité l'humidité saline due au voisinage de la mer sera une cause active d'oxydation.

Confection des chaînes de suspension

Les chaînes de fer ont été formées de diverses manières : tantôt en barres isolées de fer carré, rond et méplat; tantôt en anneaux oblongs de fer rond; tantôt en groupes deux à deux des barres précédentes presque juxtaposées.

La tension n'étant pas constante dans les chaînes de suspension depuis les supports jusqu'au bas des arcs paraboliques, on pourrait, surtout lorsque la flèche est considérable relativement à l'ouverture, partager tout le développement des arcs en plusieurs divisions, et diminuer de l'une à l'autre les dimensions des barres.

Pl. 52 et 53. Fig. 270 et 271.

Le système d'anneaux oblongs se déforme facilement, à moins qu'on n'y intercale de petits dés en fonte pour maintenir l'écartement des deux branches, surtout près des coudes extérieurs. Ces coudes ont besoin aussi d'avoir une épaisseur presque double de celle de chacune des branches.

Le fer méplat, posé de champ, présente cet avantage qu'on peut le percer à froid à l'*emporte-pièce*, et qu'il n'a pas besoin de passer au feu pour fournir des boucles à ses extrémités.

Les liaisons des barres consécutives d'une même chaîne se font en jumelant, de droite et de gauche, les extrémités correspondantes de deux barres contiguës par des anneaux oblongs très-courts, réunis entre eux et avec *les pitons* des extrémités des barres par des boulons à écrous ou clavettes. Ordinairement ces boulons sont ovalisés et fendus en deux, de manière qu'on puisse, en y engageant des cales en fer, rapprocher au besoin les extrémités des deux barres. On les fait en fonte, et mieux en fer forgé. Pl. 56. Fig. 280. Pl. 55. Fig. 271.

Les tringles de suspension de la plate-forme, en fer rond, passent ordinairement dans chaque articulation et par le jour qui reste entre les extrémités des barres consécutives. Ces tringles sont tantôt arrêtées sur une plaque en fonte portant sur les deux anneaux d'articulation, tantôt suspendues à un des boulons de l'articulation : le premier moyen paraît préférable. D'après cette disposition, on voit que les longueurs des barres d'une même chaîne dépendent de l'espacement des tringles de suspension qui leur correspondent. Pl. 56. Fig. 281.

La portion des câbles qui passe sur les sommets des supports est formée de longues barres courbes, ou d'une chaîne flexible à *petits maillons*.

Les figures 282 des planches indique l'engin dont on fait usage pour réparer et changer des portions de chaînes de suspension, sans arrêter la circulation sur le pont. Pl. 56. Fig. 282.

Les chaînes d'amarrage sont assemblées entre elles et avec les chaînes de suspension, comme il vient d'être dit; mais on leur donne plus de force qu'à ces dernières; et souvent même pour avoir plus de garanties de la bonté du fer, on fait correspondre dans l'amarrage, à chaque chaîne en fer de suspension ou barre isolée, un groupe de deux chaînes en fer de moindre échantillon.

Confection des câbles de suspension en fil de fer.

Les câbles en fil de fer sont formés ordinairement par du fil de fer des n$^{os}$ 17 et 18, ayant 0$^m$,0026 et 0$^m$,003 d'épaisseur, pesant, au mètre courant, de 44 grammes à 57 grains, et vendu par rouleaux ayant de 140 mètres à 150 mètres de développement. Ils sont confectionnés de diverses manières.

Comme dans un faisceau circulaire de fils, les fils placés à l'intérieur et ceux placés à l'extérieur appartiennent à des courbes de longueurs différentes, et que, suivant le mode de préparation, il pourrait en résulter des inégalités de tension, M. Vicat avait proposé de former les câbles de faisceaux méplats de fils dévidés sous une tension uniforme. Même, dans un article inséré, en 1831, aux *Annales des ponts et chaussées*, cet ingénieur avait proposé de préparer les câbles, non dans un chantier, mais dans leur emplacement même sur le pont, et à l'aide d'un petit chariot, en sorte que la confection et la pose n'auraient été qu'une seule et même opération. Pl. 56. Fig. 283.

Au pont de Fribourg, l'on a formé chaque câble *suspensoir* de 20 écheveaux; chaque écheveau renfermait de 48 à 56 fils, et était fabriqué dans le chantier de construction. Les écheveaux ont été montés successivement sur les supports; puis, après les avoir régulièrement juxtaposés pour avoir une tension uniforme, l'on a ajusté les tiges de suspension. Avec une machine à vis, l'on a arrondi tout le faisceau d'écheveaux et on l'a maintenu à cet état par des ligatures en fil de fer recuit. Pl. 55. Fig. 274.

On peut voir, dans les articles insérés aux *Annales des ponts et chaussées* par MM. Vicat, le colonel Dufour et M. Challayes, constructeur du pont de Fribonrg, les divers modes de confection à employer. On remarquera qu'an pont de Fribourg, les câbles de snspension cylindriques deviennent des faisceaux méplats à leur passage sur le sommet des supports, et reprennent ensuite la force cylindrique.

Les câbles d'amarrage du même pont sont au nombre de deux ponr chaque câble de
Pl. 55. Fig. 274. suspension; comme ceux-ci, ils s'épanonissent en faisceanx sur le ronleau de friction. Ce dernier transforme leur direction oblique en direction verticale dans les puits; et ces faisceaux, reprenant la forme cylindrique, vont s'attacher aux ancres du fond des puits.

Les fils de fer penvent être employés de deux manières ponr faire des câbles: soit par nn fil sans fin se repliant sur lui-même pour ne former qu'nn écheveau, et en réunissant ensemble les fils primitifs de toutes longueurs; soit en conpant tous les bonts de fil à là même longueur, et les assemblant par leurs extrémités. M. le colonel Dufonr, de Genève, malgré le déchet qne ce dernier mode peut causer, lui donne la préférence, parce que les câbles ainsi fabriqués sont beauconp plns réguliers et plus compactes. Dans tous les cas, M. le colonel Dufour recommande de redresser les fils de fer enroulés du commerce en les faisant passer *dans des peignes*, comme cela se pratique dana les fabriques de clous.

Pl. 56. Fig. 284. La réunion de deux brins de fil de fer se fait en les juxtaposant sur $0^m,10$ de longueur environ, et en les serrant par *une spire* à hélices contignës faite avec du fil de fer recuit du n° 4. Ce moyen an pont de Fribonrg a été reconnu si efficace, que les bouts des deux brins n'ont jamais glissé l'un sur l'autre dans les épreuves de rupture, et que le fil a toujours rompu au-dessus ou au-dessous de la ligature.

Pl. 55 et 56. Fig. 274 et 285. Les extrémités des câbles forment une boucle par la subdivision en deux des faisceaux de fils; de fortes ligatures avec du fil recuit sont faites à l'origine de la division. On place des croupières (fers à cheval) en fonte dana l'intérieur de la boucle. La liaison de deux câbles peut alors s'opérer ou, comme an pont de Fribourg, en juxtaposant les bouts des câbles et en intercalant des clefs en fer entre leurs cronpièrea, ou par des anneaux oblongs et jumelés, comme dana les assemblages de barres d'une même chaîne en fer. M. le colonel Dufour recommande de faire les cronpières aussi grandes qne possible, parce que les fils se couperaient dans une courbure trop prononcée, par exemple de $0^m,02$ de rayon.

Les tiges de suspension du tablier, qu'on peut faire à volonté en fer rond ou en faisceaux de fils de fer, et de préférence en fer, peuvent être tenus sur le câble en un point quelconque; dans le premier cas, par un petit étrier dont les deux branches sont
Pl. 56. Fig. 286. liées entre elles à l'aide d'un boulon qui porte la tige de suspension; dans le second cas, soit par ce même système où la croupière supérieure du faisceau vertical porterait alors sur le boulon susdit, soit par la disposition suivie au pont de Fribonrg, où cette cronpière *est portée* par un petit chevalet en fonte, lequel s'appuie lui-même sur deux câbles contigus.

Les moyens de liaison des extrémités inférieures des tiges en fer rond, ou faisceaux suspenseurs aux poutrelles de la plate-forme du pont, sont si divers et d'ailleurs si simples, qu'ils n'exigent aucun détail.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-TROISIÈME LEÇON.

TRACÉ, LEVAGE ET ÉPREUVE DES PONTS SUSPENDUS. — DES PONTS MOBILES DE DIVERSES DÉNOMINATIONS.

L'on a déjà dit que la courbe des câbles ou chaînes de suspension, chargés d'un plancher horizontal, était sensiblement une parabole dont le sommet est au bas de la courbe. Son équation est $y^2 = \frac{d^2}{4f} x$ ($d$ étant la largeur de l'ouverture, dans la supposition que les deux supports des rives sont de niveau, et $f$ la flèche). Tracé des ponts suspendus.

Il y a plusieurs procédés simples pour tracer la parabole sur une épure : on renvoie à ceux qui sont indiqués aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832, dans un ouvrage de M. l'ingénieur Lemoyne déjà cité, et dans un article de M. l'ingénieur Julien, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1837.

On a donné plus haut la formule qui exprime la longueur de la courbe entre ses appuis. Comme les poids n'y entrent pour rien, pas plus que dans l'équation de la courbe, M. le colonel Dufour a fait remarquer qu'on pourrait avoir toutes les circonstances de cette courbe au moyen d'une petite chaîne très-flexible et très-élégie qu'on mettrait dans la position où la grande doit se trouver, et à laquelle on suspendrait une tringle de fer horizontale par autant de fils qu'il doit y avoir de tiges de suspension dans le pont projeté. On trouverait ainsi la longueur de ces tiges.

Le calcul la donne également, en remarquant que chaque longueur est une abscisse de la parabole, et que l'ouverture est ordinairement divisée en parties égales, de manière que chacune de ces parties est $y = \frac{m}{n} \cdot \frac{d}{2}$, en sorte que l'abscisse $x = \frac{m^2}{n^2} f$. On voit que cette formule, étant indépendante de $d$, donnera les mêmes valeurs pour $x$ toutes les fois que la flèche ne variera pas ; que l'ouverture sera divisée dans le même nombre de parties égales et qu'on en prendra le même nombre. De là un autre moyen de trouver une courbe de suspension avec une *parabole étalon* exécutée en cuivre.

Comme il est convenable que la plate-forme suspendue ne présente jamais de creux permanent au milieu, et que dans toutes les hypothèses d'abaissement des chaînes ou

câbles de suspension, il est ntile pour l'écoulement des eaux qu'il y ait au contraire nne pente longitudinale, on calculera à l'avance le maximnm d'abaissement, et l'on en tiendra compte dans la confection des tiges de suspension et dans la pose, pour élever d'autant le point milieu dn tablier.

Qnant aux barres formant les chaînes de suspension, on préférera toujours, pour la facilité de leur fabrication, leur donner pour longueur une partie aliquote de celle de la courbe, et dès lors les tiges de suspension seront à distances inégales.

Levage des ponts suspendus.

Le levage d'un pont suspendu ne doit se faire que quand les maçonneries ont eu le temps de durcir, surtout dans les points d'amarrage.

Si le pont est en chaînes avec barres de fer, ces barres ne présenteront pas, quelle que soit l'onverture, une section transversale totale de plus de $0^{déc. car.},64$ pour chaque chaîne; ainsi, pour des ouvertures de 500 décimètres, 1000 décimètres, 1500 décimètres, 2000 décimètres, le poids d'une chaîne pourrait s'élever à 2700 kilogrammes, 5400 kilogrammes, 8100 kilogrammes, 10800 kilogrammes.

Pour les câbles en fils de fer, il n'y a pas la même limite, puisque les faisceaux formant le câble peuvent en s'accroissant donner des diamètres de $0^{m},15$ à chaque câble; ainsi pour le pont de Fribourg, par exemple, il en serait résulté, pour le poids total d'nn câble, plus de 35000 kilogrammes. Mais comme on avait pris le parti de morceler les câbles en écheveaux, le fardeau à lever a été réduit à 1700 kilogrammes.

Les câbles d'amarrage du même pont de Fribourg, confectionnés dans le chantier, puis mis en place, pesaient chacun 1500 kilogrammes.

Le système de levage des chaînes de suspension, pour des poids de 2700 kilogrammes, peut être le même que pour les *câbles* de suspension de faible diamètre, c'est-à-dire qu'on pent les assembler dans le chantier sur une des rives, les faire passer à l'autre rive en les sontenant par des bateaux, puis les faire monter sur les supports en les amarrant à des cordes en chanvre, manœuvrées par des poulies et des treuils ou cabestans placés sur les mêmes supports ou à leur pied.

Mais pour des poids considérables, ce procédé serait probablement plns dispendieux que l'établissement d'nne passerelle suspendue à faux frais, formée par des câbles et des cordes de chanvre, et par des plates-formes d'échafaudage amovibles également à faux frais, le tout étant appuyé et même amarré anx supports du pont définitif. On peut voir à cet égard dans les *Annales des ponts et chaussées*, un article intéressant sur les ponts en cordages de M. Bodson de Noirfontaine.

Pour les ponts confectionnés par M. Brunel ponr l'Ile-Bourbon, ainsi que pour le pont de l'allée d'Antin, à Paris, on s'est servi de câbles auxiliaires en chanvre, tendns d'un support à l'antre, le long desquels glissait nne plate-forme d'échafaudage suspendne à ces câbles. Les onvriers liaient à faux frais les barres de fer aux câbles en chanvre, au fur et à mesure qu'on réunissait aussi ces barres entre elles; quand les chaînes ont été ainsi complétement montées sur chaque support, on les a séparées du câble en chanvre et l'on a enlevé ce dernier.

On renvoie, pour les détails du levage, aux descriptions des ponts suspendus déjà citées, insérées aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1835.

Épreuve des ponts suspendus.

Toutes les parties d'un viaduc ou pont suspendu doivent résister en tout temps à une charge temporaire, calculée à raison de 200 kilogrammes par mètre carré de surface de tablier; mais pour ne pas fatiguer et déliaisonner des maçonneries encore fraîches, on se borne, en France, avant la mise en service d'un ouvrage de ce genre, à une épreuve à *mi-charge*, en assujettissant le passage à des règlements de police limitatifs jusqu'à ce que l'épreuve complète ait été faite. On opère cette épreuve tantôt par des entassements progressifs de moellons sur la hauteur et sur la longueur, tantôt en faisant arriver successivement sur le pont, à l'aide de palans, des files de voitures et chariots chargés, représentant la charge d'épreuve. Ce dernier moyen semble préférable pour prévenir les accidents.

Quant aux effets du choc, M. le colonel Dufour a fait des expériences desquelles il conclut : que chaque millimètre carré de la section d'une barre de fer peut, sans danger de se rompre, supporter une force vive exprimée par 2 kilogrammes élevés à un mètre, et *cela lorsque la barre supporte déjà une traction longitudinale égale au tiers de la résistance à la rupture*. Ce même constructeur ajoute qu'un pont suspendu qui a subi l'épreuve du maximum de charge *morte*, n'a rien à craindre des forces vives auxquelles il peut être soumis, et d'autant moins que la portée est plus grande. L'élasticité d'un système de suspension est le meilleur préservatif; les vibrations ne sont dangereuses que lorsqu'elles sont *cadencées*, et s'accumulent, ainsi que cela a lieu, par le passage d'une troupe d'hommes ou d'animaux.

Bien que l'on puisse craindre que les fers en barres essayés après leur triage préalable perdent dans cet essai une partie de leur force, cependant de nombreux accidents survenus dans des épreuves finales de ponts, par défaut d'épreuves préalables de chacune des pièces élémentaires, ne permettent pas de renoncer à ces dernières; mais il convient de s'arrêter à des charges inférieures à celles qui altéreraient l'élasticité.

Pour les fils de fer, le triage et l'examen attentif de tous les rouleaux peuvent suffire, puisque l'opération d'étirage des fils est elle-même la meilleure des épreuves de la résistance et de la ductilité du fer.

Conservation et entretien des ponts suspendus.

Les fers des chaînes de suspension doivent être peints au minium, à plusieurs couches, surtout dans les liaisons; les bois doivent l'être à la céruse, mélangée d'ocre jaune pâle. De plus, de la peinture de céruse en pâte devrait être placée dans toutes les faces de contact des bois, et il faudrait assurer l'écoulement de l'eau de tous les assemblages, soit par des petits trous de tarière, soit en dressant en pente, de l'intérieur à l'extérieur, les surfaces sur lesquelles l'eau séjournerait : c'est ordinairement en effet par les assemblages et contacts des bois que commencent leurs détériorations.

Pour les câbles en fil de fer, on peut préserver les fils de l'oxydation depuis leur livraison jusqu'à la confection des câbles, en les laissant immergés dans des dissolutions

alcalines. Avant leur mise en place, on les fait passer, pendant deux beures et à trois reprises différentes, dans de l'hnile de lin bouillante préalablement oxygénée pendant six à buit heures d'ébullition, par 1/50 de litharge mêlée avec 1/32 de noir de fumée.

M. Challayes, constructeur du pont de Fribonrg, annonce que les fils sont ainsi inaccessibles à l'oxydation, tant qu'ils ne sont exposés à aucun frottement. Les écheveaux des câbles reçoivent une forte application du même enduit qu'on renonvelle sur les câbles eux-mêmes après le levage. Enfin M. Cballayes, an même pont de Fribourg, a ajouté à ces précautions une dernière couche de peinture blanche de céruse, qui laisse de suite apercevoir les premières traces d'oxydation.

M. Vicat, dans un article inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1834, propose de soustraire les câbles on faisceaux de fils de fer à l'action de la plnie et de la rosée, en les enveloppant d'un manchon en tôle peinte, formé d'un grand nombre de bouts assemblés à *double embotture par crochets*, de manière à laisser tont le jeu désirable au câble.

L'application de l'étamage galvanique par le zinc sera probablement tentée avec succès ponr les ponts snspendus, particulièrement à ceux en câbles de fils métalliques.

Quant aux parties sonterraines des amarrages, l'on est d'accord ponr les noyer dans nne gangue de cbaux grasse, ainsi qu'il a déjà été dit.

On terminera ces notions sommaires sur les ponts snspendus par le tableau des dimensions et prix de construction de qnelques-uns d'entre eux.

*Tableau des dimensions principales, poids en métal et frais de construction de quelques passerelles et ponts suspendus en chaînes de fer et fil de fer.*

| INDICATION des PONTS ET PASSERELLES. | NOMBRE des arches. | Longueur de la voie. | Largeur de la voie. | (A) surface de la voie. | Distance de cette surface au fond du lit. | (B) produit de cette distance par la surface de la voie. | Poids total de la fonte de fer employé. | Poids total du fer et du fil de fer employé. | DÉPENSE de construction. | Poids de fonte de fer employé par mètre carré A. | Poids de fonte de fer employé par mètre cube B. | Poids de fer forgé ou fil de fer employé par mètre carré A. | Poids de fer forgé ou fil de fer employé par mètre cube B. | Prix de revient par mètre carré A. | Prix de revient par mètre cube B. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Passerelles en chaînes de fer.* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | m. | m. | m. q | m | m. c. | kil | kil. | fr. | kil. | kil. | kil. | kil. | fr. | fr. | |
| Passerelle de King-Meadow, en Angleterre sur la Tweed . . | 1 | 33,50 | 1,22 | 41 | x — x | x — x | x — x | x — x | 1,600 | x — x | x — x | x — x | x — x | 39,60 | | *Nota.* On fait remarquer que le bas prix des métaux en Angleterre et aux États-Unis y rend les ponts suspendus moins coûteux qu'en France. La plupart de ces ouvrages étant construits par des entrepreneurs péagistes, il est très-difficile de connaître le dépense réelle de ces constructions. |
| Passerelle de Dryburgh . . . | 1 | 79,20 | 1,22 | 96,60 | 7 | 676.20 | x — x | x — x | 18,500 | x — x | x — x | x — x | x — x | 10,40 | 2,30 | |
| *Passerelles en fil de fer.* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pont de Philadelphie, sur le Schuylkill en Amérique. . | 1 | 122 | 9,60 | 73,20 | 7 | 512 | . . . | 596 | 1,600 | . . . | . | 8.10 | 1,15 | 22 | 3 | |
| *Ponts en chaînes de fer.* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pont sur la Merrimack aux États-Unis . . . . . . . . | 1 | 74.40 | 9,14 | 680 | 21 | 14210 | . . . . . | . . . | 135,500 | . . . | . . . | . . . . | . . . . | 199 | 9 | |
| Pont sur le Lehegh aux États-Unis . . . . . . . . . | 2 | 145 | 9,10 | 1319 | . . . | . . . . . | 27,000 | | 108,400 | . . . | . . . | 20 | | 82,60 | | |
| Pont sur la Tweed, en Angleterre . . . . . . . . . | 1 | 110 | 5,49 | 604 | 11 | 6644 | 101,600 | | 152,500 | . . . | . . . | 168 | 15,30 | 252,40 | 23 | |
| Pont du détroit de Menay . . | 1 | 170 | 8,54 | 1452 | 45 | 65340 | . . . . | . . . . | 165,000 (1) | . . . | . . . | . . . | . . . | 2066 | 45 | |
| Ponts pour l'Ile-Bourbon . . 1° Pont sur la rivière Sainte-Suzanne . . | 2 arches de 37 mèt. | 81 | 5,80 | 470 | 5,50 | 2585 | 65.000 f. pour objets en métal (1). | | | . . . | . . . | 138 | | 351 | 64 (1) | (1) Ces prix ne comprennent pas le transport des pièces en métal des ponts d'Angleterre à l'Ile-Bourbon. |
| Ponts pour l'Ile-Bourbon . . 2° Pont du Mât. . . . | 1 | 40 | . . . | 252 | x — x | . . . . . | 34.000 f. pour objets en métal. | | 35,000 | . . . | . . . | 698 | | 351 | | |
| Pont des Invalides, sur la Seine, à Paris (projeté par M. Navier). | 1 | 170 | 8,70 | 1479 | 12,50 | 18487 | 201,690 | 165,360 | 900,000 | 136 | 11 | 111 | 8,80 | 608 | 48,60 | |
| Pont de Langon, sur la Dordogne . . . . . . . . . | 3 | 200 | 6 | 1200 | 17 | 20400 | 32,000 | 95.400 | 600,000 | 26,60 | 1,56 | 79 | 4,60 | 500 | 29 | |
| *Ponts en fil de fer.* | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pont de Tournon, sur le Rhône, de M. Séguin . . . . . . . | 2 | 180 | 8 | 900 | . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 200,000 | . . . | . . . | . . . | . . . | 222 | | |

*Ponts mobiles.*

On appelle ainsi, en général, tous les moyens *amovibles* de franchir un passage.

Ainsi les cordes ou chaînes tendues en pente d'une rive d'un précipice à l'autre, et auxquelles on suspend un fardeau qui descend en glissant, sont une sorte de pont mobile.

Dans les rivières et les ports, on connaît les bacs ordinaires, bacs à traille, ponts volants, ponts de bateaux, raz et radeaux, qui bientôt feront place successivement, par les progrès de la civilisation, aux ponts fixes ou suspendus.

Bacs ordinaires. Le bac ordinaire est une embarcation d'une longueur et d'une largeur appropriées aux plus fortes voitures, variant, pour la longueur, de 9 à 18 mètres; pour la largeur, de 3 à 5 mètres, et dont le tirant d'eau est réglé sur le poids du bac et sur sa charge maximum.

Pl. 57. Fig. 287. Le fond en est ordinairement dressé en courbe concave, longitudinalement. Afin de les raccorder avec les pentes des rives d'accostage, on place, aux deux têtes, des tabliers qui s'élèvent ou s'abaissent à volonté, lors de l'entrée ou de la sortie des voitures. Ce bac est remorqué tantôt par une chaloupe armée d'avirons, tantôt par un treuil ou cabestan établi sur la rive opposée à celle d'où l'on part, tantôt enfin par une machine à feu fixée sur la rive, ou portée par l'embarcation de remorque elle-même.

Bacs à traille. Le bac à *traille*, de même forme que le précédent, est assujetti à cheminer le long d'une corde tendue sur l'eau ou au-dessus de l'eau dans une direction oblique au courant, de manière que le courant lui-même aide au mouvement. Dans les passages d'eau où le courant est très-fort, on dispose les rampes d'abordage de manière que leur extrémité inférieure soit dirigée vers l'aval. L'inclinaison de ces rampes doit être telle, qu'on puisse accoster à toute hauteur de l'eau : elle est ordinairement de $0^m,08$ à $0^m,12$ par mètre.

Pl. 57. Fig. 288.

Ponts volants. Le pont volant est tantôt un bac comme le précédent, attaché à une très-longue corde, laquelle est elle-même fixée au milieu de la rivière par une ancre; tantôt un groupe de deux bateaux liés l'un à l'autre, surmontés d'une plate-forme horizontale en bois. L'ancre est à une distance des points de départ ou d'arrivée des rives, égale au moins à une fois et demie la largeur de la rivière. Le pont passe d'une rive à l'autre, ou d'une rive à un radeau ou bac stationnaire dans le courant, en décrivant un arc de cercle par l'effet du courant qui le frappe obliquement. Le trajet se fait assez rapidement, puisqu'on traverse en trois minutes le Rhin sur 360 mètres de largeur, et en cinq minutes la Dordogne sur 500 mètres de largeur.

Pl. 57. Fig. 289.

Ponts de bateaux. Un pont de bateaux ou radeaux est formé de plates-formes portées par des chevalets, lesquels sont placés sur des bateaux ou radeaux bien amarrés dans le sens du fil de l'eau. Les diverses travées d'un groupe de bateaux ou de radeaux à l'autre sont liées, mais de manière à obéir aux dénivellations de l'eau, soit lors des marrées, soit lors

Pl. 58. Fig. 290.

des crues. Sur les rivières navigables, une partie du pont doit être amovible; et à cet effet, les bateaux ou radeaux qui la limitent sont juxtaposés à ceux qui forment les extrémités des deux portions latérales fixes. Dans les circonstances urgentes, on construit ces ponts par parties ou *équipages* qui peuvent être, à volonté, indépendantes les unes des autres.

Dans les ports de mer, pour communiquer des quais aux bâtiments flottants amarrés à demeure, on fait usage de grands plans inclinés de 14 à 15 mètres de longueur, portés sur tourillons ou sur roulettes en fonte à leur partie supérieure, et appuyés par leur extrémité inférieure sur le bâtiment flottant : quand la mer monte, le plan incliné devient moins rapide, et son pied s'avance sur la plate-forme du bâtiment; le contraire a lieu lorsque la mer descend. Ces plans inclinés sont formés de deux poutres de rive qui font corps avec la balustrade du parapet, à l'aide de systèmes de tirants verticaux et inclinés, et de potelets de support intermédiaires. Plans inclinés mobiles. Pl. 58 et 59. Fig. 291.

Les radeaux sont des plates-formes en bois léger, portées par des poutres d'une pesanteur spécifique également beaucoup moindre que celle de l'eau : souvent on les tient à flot sous une forte charge, en y attachant des barriques ou tonnes vides. Radeaux. Pl. 59. Fig. 292.

Les raz sont des *coffres* plats d'une grande surface horizontale, formés de bois légers et imperméables à l'eau. Raz. Pl. 59 Fig. 293.

On fera bien de lire la description de l'ancien pont de bateaux de Rouen dans l'*Encyclopédie*, et celle des divers passages d'eau dans les ouvrages sur l'art militaire et sur celui des constructions navales.

Lorsqu'il n'est pas possible de concilier la hauteur des arches d'un pont avec les besoins de la navigation, ou quand on veut, dans un intérêt de défense ou tout autre, se réserver la possibilité d'interrompre une communication, on y établit un des ponts mobiles suivants : *pont-levis, pont à bascule, pont tournant, pont roulant, pont ascensionnel, pont amovible;* c'est-à-dire qu'une partie de la plate-forme de communication,

On s'élève autour d'un axe horizontal placé à son extrémité,

On s'élève autour de cet axe placé au milieu de la longueur de la plate-forme mobile,

On tourne sur un axe vertical et se rabat sur un des côtés,

Ou roule en arrière suivant l'axe même de la voie,

Ou se déplace verticalement en montant et descendant,

Ou enfin est entièrement amovible.

Le choix entre ces divers systèmes dépend d'une foule de sujétions et conditions locales particulières.

Ainsi, dans beaucoup de cas, la promptitude de la manœuvre sera le point essentiel, tandis qu'il n'y aura pas à tenir compte de la force motrice pour l'opérer.

La nature des chargements qui passeront sur les ponts sera aussi très-variable.

Dans des villes populeuses, il y aura souvent à se préoccuper beaucoup plus du passage sur le pont mobile que dessous ce pont. Ce sera le contraire loin des villes. Dans les deux cas, le genre de bâtiments qui devront passer sous le pont mobile, les

uns à la voile et à la rame, les autres *toués;* leur destination spéciale, comme bateaux à vapeur ou comme bateaux ordinaires, leur configuration extérieure à *pleine charge*, suivant qu'ils seront chargés de charbons, de pierres ou de métaux, sont autant d'éléments de la question. Enfin, il faudra tenir compte des hauteurs respectives des terrains au niveau et dessous le pont mobile, des crues d'eaux, des marrées pério-

Quant il ne s'agit que d'avoir un passage pour *les mâts et gréements* de bâtiments marchant à la voile, et que *la coque* des bâtiments peut passer sous la voie d'un pont, diques, etc., etc.

Pl. 59. Fig. 294. on se borne, comme à Bréda, à Anvers et à Saint-Pétersbourg, à former ce pont de deux parties fixes de rive, solidement soutenues soit par des contre-fiches en dessous, soit par des chaînes *en dessus*, amarrées à des supports de rive, et les extrémités de ces parties fixes portent de petits tabliers mobiles autour de charnières horizontales. Quand il y a deux tabliers mobiles dans un pont, ils viennent se contre-butter en faisant un angle *vertical* dont la tangente doit être au moins de $0^m,20$.

Ponts-levis. Les ponts-levis ne sont guère employés que pour interrompre des passages de 4 à 5 mètres au plus, lorsqu'il n'y a qu'un seul de ces ponts, et de 8 à 10 mètres quand il y en a deux. Ils sont particulièrement en usage dans les places de guerre. On sait que l'extrémité mobile de ces ponts est suspendue à des chaînes que l'on fait monter par une manœuvre opérée sur la rive. Ces chaînes, dans la pratique ordinaire, sont attachées à deux flèches de même saillie que la plate-forme mobile, et qui basculent sur le haut d'appuis fixes, par l'abaissement de leurs prolongements intérieurs munis de contre-poids.

Souvent ces mêmes chaînes, passant sur des poulies fixées au haut des appuis de rive, sont en relation avec un contre-poids *d'un effort variable*. Ce dernier, le plus généralement, descend le long d'une courbe calculée de telle manière qu'il y ait à
Pl. 59. Fig. 295. chaque instant équilibre autour du point de rotation entre la résistance variable du pont qui s'élève et la tension due au contre-poids, en sorte que l'effort à opérer pour la manœuvre du pont soit le moindre possible.

Cet équilibre peut s'obtenir évidemment par trois combinaisons :

1° Faire varier le bras de levier d'un contre-poids constant;

2° Faire varier le bras de levier seul;

3° Faire varier à la fois le contre-poids et le bras de levier.

On peut voir dans les *Œuvres de Bélidor*, dans le *Mémorial du génie*, dans le *Devis général du canal de l'Ourcq*, dans la *Collection lithographique de l'École des ponts et chaussées*, beaucoup d'esquisses de ces trois systèmes de ponts-levis.

On emploie divers moyens pour donner de la résistance à la plate-forme mobile; ainsi elle est armée, en dessous, de contre-fiches qui tournent sur des points fixes en
Pl. 60. Fig. 296. même temps que la plate-forme monte ou descend. Ces points fixes sont tantôt sur *les culées* de rive, tantôt en dessous du tablier, et alors leur extrémité mobile glisse le long d'une rainure verticale des culées de rive.

Quelquefois le tablier abaissé est tendu par des chaînes inclinées qui sont fixées aux supports de rive du passage, et à une hauteur plus ou moins grande au-dessus du point de rotation de ce tablier. Les flèches elles-mêmes doivent être consolidées en dessus, comme au canal de l'Ourcq, par un système triangulaire vertical d'armatures en fer.

Dans ces ponts, l'on nomme *volée*, la partie qui s'élève; *culée* celle qui s'abaisse et va se rabattre *dans une fosse* pratiquée en arrière du point de rotation. *Les moments* de ces deux parties doivent se faire équilibre autour de l'axe de rotation, et celui-ci doit se confondre avec le centre de gravité du système. On donne ordinairement à la culée les $\frac{2}{5}$ ou les $\frac{3}{8}$ de la longueur totale du tablier. Le mouvement de rotation s'opère par des treuils ou des engrenages. Ce genre de pont est renforcé également par des contre-fiches mobiles autour des points fixes, comme dans les ponts-levis. Il est évident qu'on augmenterait de beaucoup la solidité des ponts à bascule en attachant à l'extrémité de la culée une chaîne scellée au fond de la fosse, et en assemblant sur les poutres de rive le système triangulaire en bois ou en fer déjà indiqué pour les ponts-levis. Ponts à bascule.

L'extrémité de la culasse, quand le pont est abaissé, est soutenue par un châssis ou *valet en bois*, mobile de diverses manières et notamment autour d'une charnière horizontale et transversale à la longueur du pont.

MM. les ingénieurs Lamblardie père, Girard et Letellier ont imaginé divers systèmes de ponts à bascule, dont on trouve la description dans les ouvrages déjà cités. Pl. 60 et 61. Fig. 297.

Ces ponts permettent de franchir avec une seule plate-forme un débouché de 6 à 7 mètres, et avec deux plates-formes, une sur chaque rive, 12 à 14 mètres de débouché. Mais le renfoncement nécessaire à l'abaissement de la culée est très-gênant, et son humidité hâte la détérioration des bois du bâti mobile.

Ces ponts, qui sont employés très-fréquemment, présentent également un arrière-train nommé culée, et un avant-train nommé volée; mais l'axe de rotation est vertical, et est d'ordinaire dans la ligne d'axe du pont, et, par suite, placé à une distance du parement des murs ou revêtements d'appui égale au moins à la moitié de la largeur de la voie du pont, attendu que le pont *rabattu dans son enclave* ne doit pas déborder les soutènements. Le fond horizontal de cette enclave est d'ailleurs plus bas que les abords du pont de *toute la hauteur verticale* de la plate-forme tournante. Ponts tournants.

Ici encore, il faut qu'il y ait équilibre entre les moments de la culée et de la volée, *y compris les frottements;* et le problème, assez difficile à résoudre, est de concilier la stabilité du pont sous le passage des charges mobiles avec la plus grande facilité possible dans l'ouverture et la fermeture et dans le mouvement de rotation. La volée, lorsque le passage est rétabli, est également soutenue par des contre-fiches, qui se relèvent sous la plate-forme avant qu'on fasse le mouvement d'ouverture du pont. Pour soulager la volée et la culée, ou empêcher leur abaissement dans le mouvement de rotation, on a placé deux jeux de roulettes du *plus grand diamètre possible*, avec chemins de fer, l'un sous la volée près de la rive de soutènement, l'autre à l'extrémité Pl. 61. Fig. 298.

de la culée. On a d'ailleurs fortifié le bâti général par le système triangulaire déjà indiqué pour les ponts à bascule.

Pour consolider ces ponts, on a quelquefois amarré l'extrémité de la culée à des chaînes scellées verticalement dans les soutènements du pont, et l'on a substitué aux contre-fiches indiquées plus haut deux potences, mobiles autour d'un axe vertical, et qu'on replie dans des encastrements ménagés dans les soutènements. On parvient ainsi

Pl. 61 et 62. Fig. 299. à franchir, avec un seul pont, des passages de 7 à 8 mètres, et avec un pont sur chaque rive, des passages de 14 à 16 mètres.

La manœuvre se fait par des cabestans, treuils ou engrenages. Elle dure, avec un seul homme, environ trois minutes.

Les pièces qui terminent les volées des deux ponts opposés sont taillées en *arc de cercle* d'un centre différent de celui de rotation, afin de s'emboîter l'une dans l'autre à recouvrement. L'enclave de la culée doit également être refouillée en arc de cercle. Dans quelques ponts, l'une des volées est plus longue que l'autre et repose sur elle.

M. Lamblardie père avait imaginé un autre système de pont tournant qui immergeait

Pl. 62. Fig. 300. ou émergeait d'une faible quantité, à l'aide d'un caisson mobile : on peut voir sa description dans le traité de Gauthey.

L'inconvénient des ponts tournants est d'exiger une longueur presque double de celle du passage à couvrir. Cet inconvénient disparaît lorsque le passage des eaux est plus grand que le passage navigable, parce que le point d'appui se trouve alors sur une pile, et que la *culasse* mobile couvre le reste du débouché des eaux.

On doit à l'obligeance de M. l'inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées Raffeneau de Lisle, la communication des dessins d'un nouveau système de ponts tournants, depuis longtemps exécutés par lui à Ostende en Belgique, et adopté par le conseil général des ponts et chaussées dans ses principales dispositions pour le sas éclusé du nouveau bassin de Saint-Malo et Saint-Servan.

Il consiste particulièrement dans un système de contre-fiches *jumelées* qui restent sous le tablier de chaque moitié du pont, pendant sa rotation, en décrivant des portions de *surfaces coniques* autour de leurs pieds retenus sur les culées. Ces contre-fiches s'engagent dans des enclaves ménagées sur les culées de rive, lorsque le pont est complétement ouvert. Des dispositions très-ingénieuses 1° permettent aux extrémités des volées de se soulever pour l'ouverture et la fermeture, 2° lient ces deux opérations aux opérations inverses des barrières qui ferment au public l'accès du pont avant qu'il soit prêt à fonctionner.

Pl. 62. Fig. 301. M. Raffeneau de Lisle a établi un chariot avec douze boulets mobiles dans un cercle horizontal pour supporter le pont à l'entour du centre *géométrique* de la rotation, quand ce centre est dans l'axe longitudinal du pont.

Mais cet ingénieur a fait exécuter aussi des ponts tournants qui ont parfaitement fonctionné, dans lesquels les centres de rotation sont sur le côté de chaque moitié du pont, ce qui réduit la longueur totale des deux tabliers d'une quantité égale à la largeur d'un tablier.

M. Décessart avait proposé pour le port de Tréport un système exécuté à Brest par M. l'ingénieur en chef Lecor, et depuis à Bruxelles. Il consiste, pour un pont tournant de 7 mètres de portée ou de 14 mètres d'ouverture totale, à le diviser en deux parties, tournant l'une à droite, l'autre à gauche, chacune sur un axe vertical. Il n'y a plus de culasse formant contre-poids; chaque tablier est lié à son axe par des contre-fiches. Quand les axes dans ce système sont dans le *nu* des culées, le passage, pour un pont à une seule volée, est réduit, toutes les fois que le pont est ouvert, de toute la demi-largeur du tablier. Pl. 63. Fig. 302.

On a proposé sur des cours d'eau, pour diminuer le *moment* de la volée et par conséquent celui de la *culasse* des ponts tournants, de placer sous la volée des étançons verticaux appuyés par leurs extrémités inférieures sur des *caissons flotteurs* immergés dans l'eau.

On renvoie, pour plus de détails, aux ouvrages déjà cités plus haut.

Ce genre de ponts mobiles est peu employé. Il est composé également d'une volée et d'une culée; la plate-forme mobile avance ou recule par des roulettes du plus grand diamètre possible fixées à la culée et marchant sur des chemins de fer. Le centre de gravité *devant toujours être sur la rive*, la culasse a besoin d'être plus longue que la volée ; il faut de plus un *tablier mobile* en prolongement de la culasse et presque aussi long qu'elle; enfin, les roulettes ne pouvant avoir généralement qu'un faible diamètre de 20 à 30 centimètres, les frottements rendent la manœuvre difficile. Ponts roulants.

Pour soutenir la volée *mise en place*, on se sert : 1° de poteaux qui peuvent monter ou descendre jusqu'à ce qu'ils portent sur le radier du passage, et qui se logent dans les enclaves des soutènements quand le pont est retiré; 2° de contre-fiches mobiles par leur extrémité inférieure, qui s'engagent également dans des *enclaves* quand le pont est retiré. Pl. 63. Fig. 303.

De plus, on peut, en réunissant la volée à la culée par les assemblages triangulaires déjà indiqués figures 296 des planches, donner à tout le système une rigidité suffisante, surtout quand en même temps l'extrémité de la culée, lors du passage des voitures, sera assujettie à des chaînes scellées profondément dans la maçonnerie.

On peut également franchir avec ce genre de pont des espaces de 6 à 8 mètres, quand il n'y a qu'un seul pont, et de 12 à 16 mètres quand il y a un pont sur chaque rive.

La manœuvre se fait par des treuils, cabestans ou engrenages, comme dans les ponts précédents.

On a proposé quelquefois, pour le passage facultatif des cours d'eau, un tablier horizontal que l'on aurait abaissé jusqu'au fond de l'eau, et que l'on aurait relevé par des contre-poids. Une pareille plate-forme ne se conserverait pas si elle était en bois, et serait trop lourde si elle était métallique : on a proposé aussi d'élever avec des chaînes un tablier analogue, au lieu de l'abaisser. Ponts à mouvement vertical ascensionnel et descensionnel. Pl. 63. Fig. 304.

Sur le canal de l'Ourcq, on a établi un bateau amovible formant pont. Ponts amovibles.

Pl. 63. Fig. 305. En Hollande, sur les canaux dn Helder à Amsterdam, il existe également des pouts sur bateanx flottants qni ferment nn passage de 18 mètres.

Les deux embarcadères de rive sont en charpeute, et pourraieut être en maçonnerie. Quand ou veut ouvrir le passage, ou rentre le bateau par en dessons dans le renfoncement d'uu des embarcadères. Lorsque le bateau est en place, il est réuni aux embarcadères par deux petits tabliers. On pourrait éviter ces derniers en donnant an bateau des saillies par lesquelles il s'appuierait sur les têtes des embarcadères et aurait une voie de plain-pied avec la lenr, et eu iustallaut sur le bateau les moyens de le faire immerger et émerger à volonté d'nne certaine hanteur. Il est évident que ces ponts amovibles ne conviennent que sur des poiuts où les passages en dessus et en dessous peuvent être l'objet d'*alternements périodiques et à heure fixe*.

Les *bateaux-portes à deux quilles*, dont il sera question dans la dernière partie du résumé relative à la navigation extérieure, ont été aussi employés comme pouts amovibles pour le passage des rivières. En Hollande, on s'eu sert ponr des passages de 18 mètres.

On ne douue généralement aux ponts mobiles que la largeur nécessaire pour le passage d'nue voiture, c'est-à-dire de $2^m,50$ à 3 mètres. Dans les villes on ajonte deux trottoirs ayant chacun ordinairement $1^m,50$.

Eu Angleterre, et eu Belgique particulièrement, ou a substitué la fonte et le fer forgé au bois daus la plupart des ponts mobiles, et en particulier des ponts tournants, et l'on a pu obtenir aiusi le maximum de résistance avec le minimum de poids. Mais les ponts métalliques coûteut à peu près le double des ponts ordinaires en bois. Celni

Pl. 64 Fig. 306 et 307. d'Anvers, à deux volées pour 17 mètres d'ouvertnre, a employé 100,000 kil. de foute ouvrée; le poids de chaqne ferme y est de 4,000 kil. Les figures ci-contre, 306 et 307, représentent ceux de ces pouts qni ont le plus de portée et sont sur la plus grande échelle. On remarquera qne les pivots y sout au milieu de la longueur des volées.

En considérant les ponts mobiles dans leur applicatoin à l'iuterruption temporaire de passage sur des ponts fixes pour les besoins de la navigation, on reconnaîtra que le *thalweg* frayé par les bateaux étant presqne toujours au milien de la rivière, les ponts-levis et pouts roulants sont les seuls qni puisseut être employés ; car les pouts à bascule et les pouts tonrnants exigeraient uue épaisseur considérable dans les piles on culées qui serviraient d'appnis à la rotation; et, de plns, les ponts à bascule affaibliraient ces piles par le vide nécessaire à leur arrière-train. Feu M. l'ingénieur Duleau a publié, dans la *Collection lithographique de l'École des ponts et chaussées*, des dessins de la plupart des ponts mobiles nouveaux; on trouve aussi dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1833, la descriptiou, faite par M. l'ingénieur eu chef Mary, d'un des ponts tournants d'une seule volée du canal de la Somme.

Les ponts tonrnants du caual Saint-Martin, d'uue seule volée de $7^m,80$ d'ouverture et de $5^m,16$ de largeur, ont été exécutés en bois avec chariots à galets, de manière à pouvoir ultérieuremeut les faire en fonte. Ils ont coûté 22,000 fr., auraient coûté 40,000 fr.

en fonte, et seulement 12,000 fr. s'ils avaient été exécutés dans le système peu stable des ponts de Belgique avec crapaudine. Feu M. l'ingénieur Duleau présentait comme suit le détail de la dépense dans chaque cas :

*Premier cas, celui de l'exécution.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bois. | 25m. | à 200 fr. | 5,000 fr. |
| Fonte ouvrée | 4500 kil. | à 0,80 fr. | 3,600 fr. |
| Fer forgé | 4500 kil. | à 1,70 fr. | 7,650 fr. |
| Fonte ordinaire | 9000 kil. | à 0 30 fr. | 2,700 fr. |
| Plombs, peinture et autres frais | | | 3,050 fr. |
| | | Total | 22,000 fr. |

*Deuxième cas, ponts en fonte.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fonte ouvrée. | 30000 kil. | à 0,50 fr. | 15,000 fr. |
| Fer forgé. | 5000 kil. | à 1,70 fr. | 8,500 fr. |
| Bois | 15m. | à 200 fr. | 3,000 fr. |
| Fonte ordinaire | 2500 kil. | à 0,30 fr. | 7,500 fr. |
| Montage et autres frais | | | 6,200 fr. |
| | | Total. | 40,200 fr. |

*Troisième cas, comme les ponts en Belgique.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bois. | 25m. | à 200 fr. | 5,000 fr. |
| Fer forgé | 3000 kil. | à 1,70 fr. | 5,100 fr. |
| Peinture et autres frais. | | | 1,900 fr. |
| | | Total. | 12,000 fr. |

FIN DE LA TROISIÈME PARTIE,

RELATIVE AUX VIADUCS ET PONTS FIXES EN MAÇONNERIE, EN CHARPENTE ET EN MÉTAL, AUX PONTS SUSPENDUS ET AUX PONTS MOBILES.

# QUATRIÈME PARTIE.

NAVIGATION INTÉRIEURE SUR LES FLEUVES ET RIVIÈRES,
NAVIGATION ARTIFICIELLE, IRRIGATIONS, DÉRIVATIONS, DESSÈCHEMENTS, AQUEDUCS,
ÉGOUTS, PUITS ARTÉSIENS ET ABSORBANTS.

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-QUATRIÈME LEÇON.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES COURS D'EAU ; — SUR LES TRANSPORTS PAR EAU. — RIVIÈRES NAVIGABLES NATURELLEMENT. — OUVRAGES DÉPENDANTS.

Les fleuves et rivières sont des *canaux naturels* à section, pente et vitesse variables, et à volumes d'eaux *vives* et mobiles. Ces divers éléments varient entre des limites plus ou moins distantes. Les cours d'eau sont de plus des *appareils moteurs*, non-seulement dans leur application aux diverses usines, mais aussi à la navigation descendante.

Considérations générales sur les fleuves et rivières.

« La formation du lit des rivières et des vallées est due à la même cause, ainsi que « l'a dit M. Lamblardie père, dans le premier cahier du *Journal de l'École polytech-* « *nique*; les vallées ont été plus profondes qu'elles ne le sont. On observe que leur sol « se relève constamment. Leur creusement n'est donc pas un effet lent et successif des « eaux telles qu'elles coulent actuellement, mais plutôt celui de l'action des eaux qui « ont *primitivement* sillonné la surface du globe. Les vallées principales qui portent « les eaux ont été formées les premières; c'est dans le courant auquel elles ont servi « de lit qu'ont afflué les courants des vallées secondaires, et ainsi de suite, en remon- « tant jusqu'au point de partage et de faîte où la partie la plus élevée des montagnes « circonscrit les bassins. Ces bassins se divisent en primitifs, secondaires et ter- « tiaires. »

On peut voir dans le mémoire remarquable déjà cité de MM. Brisson et Dupuis de Torcy, et dans les mémoires subséquents de M. Denaix, ingénieur-géographe, les lois générales qui lient les divers reliefs du globe aux cours naturels des eaux.

Les fleuves et rivières, considérés chacun dans l'étendue de son cours depuis la

source jusqu'au confluent avec d'autres fleuves ou rivières ou jusqu'à la mer, présentent, en plan, une section d'eau qui s'élargit avec plus ou moins de régularité, et en coupe longitudinale, sauf des anomalies, des courbes concaves pour le fond du lit et la surface de l'eau, bien que ces courbes correspondantes ne soient pas toujours concentriques ou parallèles entre elles. Le développement suivant le profil longitudinal excède donc, dans un rapport très-considérable, la distance horizontale rectiligne entre les points extrêmes.

Pl. 68. Fig. 319.

Le tableau suivant présente les pentes moyennes de quelques-uns des principaux cours d'eau de la France. Il est suivi d'un tableau publié par M. l'ingénieur Defontaine, dans son beau travail sur les eaux du Rhin, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833; ce document pourra servir de modèle pour la statistique des autres cours d'eau.

*Tableau des pentes de quelques cours d'eau de France.*

| INDICATION des cours d'eau. | POINTS EXTRÊMES des distances auxquelles se rapportent les pentes. | PENTES. Longueurs totales. | PENTES. Pentes totales. | PENTES. Pentes par kilomèt. |
|---|---|---|---|---|
| Garonne. . | A l'aval de Toulouse jusqu'à la limite du département de Haute-Garonne . . . . . . | m. 30,523 | m. 26,96 | m. 0,851 |
| | De cette limite au confluent du Tarn . . . | 51,517 | 37,67 | 0,728 |
| | De ce confluent à la limite du département de Tarn-et-Garonne . . . . . . . . . | 28,900 | 15,30 | 0,529 |
| | De cette limite à Agen . . . . . . . . | 20,119 | 8,33 | 0,414 |
| | D'Agen au confluent du Lot . . . . . . | 33,374 | 13,31 | 0,399 |
| | De ce confluent à la limite de Lot-et-Garonne | 51,527 | 14,10 | 0,274 |
| | De cette limite à Langon . . . . . . . | 25,401 | 5,77 | 0,227 |
| | De Langon à Bordeaux . . . . . . . . | 45,109 | 5,21 | 0,11 |
| | Totaux. . . | m. 286,470 | m. 126,65 | m. 0,442 |
| Dordogne . | En amont du confluent de la Vezère . . . | 29,540 | 28,70 | 0,972 |
| Rhône . . | De Lyon à Beaucaire . . . . . . . . | 265,000 | 150,80 | 0,560 |
| Grande-Saône | Grande-Saône de Verdun à Lyon . . . . | 166,000 | 11,620 | 0,07 |
| | Petite-Saône de l'amont de Verdun à Gray. | 116,000 | 15,08 | 0,13 |
| Seine . . . | De l'embouchure du canal de Saint-Denis à son extrémité aval . . . . . . . . | 30,000 | 56,23 | 0,87 |
| | De Paris à Rouen . . . . . . . . . | 243,000 | 24,12 | 0,10 |
| Loire. . . | De Digoin à Nevers . . . . . . . . . | 193,010 | 59,30 | 0,57 |
| | De Nevers à Tours . . . . . . . . . | 312,000 | 124,00 | 0,399 |
| | De Tours à Nantes . . . . . . . . . | 220,000 | 70,00 | 0,318 |
| Marne . . | De Saint-Dizier à Vitry . . . . . . . . | | | 0,81 |
| | De Vitry à Châlons . . . . . . . . . | 154,000 | 71,00 | 0,35 |
| | De Châlons à Vitry . . . . . . . . . | | | 0,23 |
| Aisne. . . | Depuis l'embouchure du canal des Ardennes jusqu'à l'Oise . . . . . . . . . | 120,000 | 25,92 | 0,26 |
| Meuse . . | Pente en aval de Sedan jusqu'à l'embouchure du canal des Ardennes . . . . . . . | 17,323 | 4,66 | 0,257 |
| | De cette embouchure à celle de la Semois. . | 50,800 | 11,98 | 0,28 |
| | De l'embouchure de la Semois à la frontière belge . . . . . . . . . . . . . | 72,921 | 36,51 | 0,50 |
| | NOTA. Ces chiffres présentent le fait caractéristique d'un accroissement de pente dans les zones aval relativement aux zones amont. | | | |
| Rhin . . . | De Reichenau en Suisse à la front. de France. | 420,000 | 941,50 | 2,242 |
| | Le long du littoral française . . . . . . | 222,460 | 145,50 | 0,655 |
| | De là à la mer . . . . . . . . . . . | 700,540 | 40,00 | 0,057 |
| | Totaux . . | m. 1,343,000 | m. 1127,00 | m. 0,84 |

*Pentes du Rhin entre Bâle et la limite*

| LIEUX D'OBSERVATIONS entre BALE ET NEUBOURG. | LONGUEURS développées du thalweg | | RELATIONS des zéros des Rhénomètres. | COTES | | | Différence entre les |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | partielles. | totales | | des plus basses eaux. | des eaux moyennes. | des plus hautes eaux. | |
| Jambage de la porte de ville du Petit-Bâle (rive droite), où se trouvent gravés les repères des différentes crues du fleuve. | m. » | m. | m. » | m. 38,283 | m. 35,927 | m. 31,350 | m. 6, |
| Rhénomètre du pont de Bâle (culée gauche). | 400 | 2,280 | 38,430 | 38,430 | 36,170 | 32,020 | 6, |
| Limite de la frontière entre la France et le canton de Bâle. | 1,880 | | » | 40,565 | 37,926 | 34,375 | 6, |
| Vis-à-vis l'écluse de prise d'eau du canal du Rhin au Rhône, à Huningue. | 1,340 | | 42,617 | 41,757 | 38,731 | 35,177 | 6, |
| Emplacement du pont de bateaux, vis-à-vis Huningue. | 420 | | » | 42,397 | 39,117 | 35,317 | 7, |
| Vis-à-vis Schalampé. | 30,834 | | 69,761 | 69,761 | 68,861 | 65,961 | 3, |
| Rhénomètre du Vieux-Brisach sur la rive droite. | 30,336 | | 98,057 | 98,057 | 96,617 | 91,987 | 6, |
| Rhénomètre du Sponeck après la limite des départements des Haut et Bas-Rhin. | 13,230 | | 106,243 | 106,243 | 105,333 | 102,323 | 3, |
| Id. de Rhinau. | 28,310 | 222,460 | 127,796 | 128,416 | 126,706 | 123,016 | 3, |
| Id. du pont de Kehl (rive gauche). | 37,230 | | 151,270 | 151,270 | 149,490 | 147,240 | 4, |
| Id. de Gambsheim, au Neugrad | 17,100 | | 160,174 | 159,664 | 155,944 | 155,804 | 3, |
| Id. d'Offendorf, au canton dit Schwartzlachkopff. | 5,400 | | 163,247 | 162,257 | 161,187 | 158,087 | 4, |
| Id. de Drusenheim, au canton dit Schwang. | 9,400 | | 167,257 | 166,837 | 165,195 | 161,337 | 3, |
| Id. de Fort-Louis, vis-à-vis Solingen | 8,700 | | 170,957 | 170,557 | 169,017 | 166,407 | 4, |
| Id. de Seltz, au Binselfelden. | 13,400 | | 176,717 | 176,307 | 174,907 | 172,047 | 4, |
| Id. de Lauterbourg, au canton dit Fahrkopf. | 18,900 | | 181,317 | 181,497 | 179,727 | 176,197 | 3, |
| Confluent de la Moder, limite de la front. entre la France et la Bavière | 5,400 | | » | 183,225 | 181,861 | 177,605 | 3, |
| | | 224,740 | | | | | |

RENSEIGNEMENTS

Hautes eaux à Mayence et à Neus. — La différence entre les hautes et basses eaux du Rhin à Mayence est de 6m,46 ; à Neus, Prusse rhénane, cette différence est de 9m,23.

Rhénomètre de Bale. — D'après les renseignements qui avaient été donnés, l'on a adopté pour les plus basses eaux de Bâle le zéro du Rhénomètre de la culée gauche du pont.

Rhénomètre de Vieux-Brisach. — L'échelle d'après laquelle on observe au Rhénomètre du Vieux-Brisach étant descendante et toutes celles de la rive gauche étant ascendantes, l'on a pris pour le zéro de l'échelle le point des plus basses eaux connues.

*[…]e la France vers la Bavière.*

| PENTES. | | | | | PENTES PAR MÈTRE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| […] plus […] eaux. | des eaux moyennes. | | des plus hautes eaux. | | aux plus basses eaux. | | aux eaux moyennes. | | aux plus hautes eaux. | |
| Pentes totales. | Pentes partielles. | Pentes totales. | Pentes partielles. | Pentes totales. | Pentes partielles. | Pentes moyennes. | Pentes partielles. | Pentes moyennes. | Pentes partielles. | Pentes moyennes. |
| m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| 12,291 | 0,245 | 1,999 | 0,470 | 2,823 | 0,000,367,500 | 0,001,000,877 | 0,000,607,500 | 0,008,767,000 | 0,001,175,000 | 0,001,239,000 |
| | 1,736 | | 2,335 | | 0,001,155,638 | | 0,000,934,043 | | 0,001,252,559 | |
| | 0,825 | | 0,802 | | 0,000,889,552 | | 0,000,615,672 | | 0,000,598,507 | |
| | 0,366 | | 0,140 | | 0,001,523,810 | | 0,000,871,429 | | 0,000,333,333 | |
| | 27,736 | | 26,026 | | 0,000,886,887 | | 0,000,964,024 | | 0,000,993,194 | |
| | 29,744 | | 30,644 | | 0,000,962,042 | | 0,000,908,364 | | 0,000,851,747 | |
| | 8,710 | | 10,336 | | 0,000,018,745 | | 0,000,658,806 | | 0,000,796,372 | |
| | 21,373 | | 22,493 | | 8,000,777,727 | | 0,000,749,667 | | 0,000,788,951 | |
| 142,669 | 22,784 | 143,955 | 22,224 | 142,250 | 0,000,613,530 | 0,000,641,284 | 0,000,611,651 | 0,000,647,015 | 0,000,596,610 | 0,000,639,331 |
| | 8,454 | | 8,564 | | 0,000,490,877 | | 0,000,494,386 | | 0,000,500,819 | |
| | 3,243 | | 2,283 | | 0,000,476,481 | | 0,000,600,536 | | 0,000,422,778 | |
| | 4,010 | | 3,470 | | 0,000,489,362 | | 0,000,426,596 | | 0,000,369,149 | |
| | 5,820 | | 4,850 | | 0,000,427,586 | | 0,000,439,080 | | 0,000,357,471 | |
| | 3,900 | | 3,640 | | 0,000,373,377 | | 0,000,383,117 | | 0,000,366,234 | |
| | 4,820 | | 4,150 | | 0,000,274,605 | | 0,000,255,096 | | 0,000,219,577 | |
| | 2,134 | | 1,408 | | 0,000,320,000 | | 0,000,395,185 | | 0,000,260,741 | |
| 144,942 | | 145,954 | | 146,055 | | 0,000,644,932 | | 0,000,649,343 | | 0,000,649,884 |

COMPLÉMENTAIRES.

HAUTES EAUX DE BALE. — La cote des hautes eaux de Bâle, celle de crue de l'année 1641, étant de . . . . 31m,550
sera pour l'année 1801 de . . . . . . . . . . . . . . 31m,545
1764 de . . . . . . . . . . . . . . 31m,764
1817 de . . . . . . . . . . . . . . 31m,990
1826 de . . . . . . . . . . . . . . 32m,060
1740 et 1758 de . . . . . . . . . . . . . . 32m,094
1778 et 1791 de . . . . . . . . . . . . . . 32m,424
1824 de . . . . . . . . . . . . . . 32m,575
1819 de . . . . . . . . . . . . . . 32m,700

*Pentes du Rhin entre Bâle et la limite*

| LIEUX D'OBSERVATIONS entre BALE ET NEUBOURG. | LONGUEURS développées du thalweg | | RELATIONS des zéros des Rhénomètres. | COTES | | | Différence entre les hautes et basses eaux. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | partielles. | totales | | des plus basses eaux. | des eaux moyennes. | des plus hautes eaux. | |
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| Jambage de la porte de ville du Petit-Bâle (rive droite), où se trouvent gravés les repères des différentes crues du fleuve. | » | 2,280 | » | 38,283 | 35,927 | 31,550 | 6,733 |
| Rhénomètre du pont de Bâle (culée gauche). | 400 | | 38,430 | 38,430 | 36,170 | 32,020 | 6,41 |
| Limite de la frontière entre la France et le canton de Bâle. | 1,880 | | » | 40,565 | 37,926 | 34,375 | 6,19 |
| Vis-à-vis l'écluse de prise d'eau du canal du Rhin au Rhône, à Huningue. | 1,340 | | 42,617 | 41,757 | 38,751 | 35,177 | 6,58 |
| Emplacement du pont de bateaux, vis-à-vis Huningue. | 420 | | » | 42,397 | 39,117 | 35,317 | 7,08 |
| Vis-à-vis Schalampé. | 30,854 | | 69,761 | 69,761 | 68,861 | 65,961 | 3,80 |
| Rhénomètre du Vieux-Brisach sur la rive droite. | 30,556 | | 98,057 | 98,057 | 96,617 | 91,987 | 6,07 |
| Rhénomètre du Spoueck après la limite des départements des Haut et Bas-Rhin. | 13,230 | | 106,243 | 106,243 | 105,333 | 102,523 | 3,72 |
| Id. de Rhinau. | 28,310 | 222,460 | 127,796 | 128,416 | 126,706 | 125,016 | 3,40 |
| Id. du pont de Kehl (rive gauche). | 37,230 | | 151,270 | 151,270 | 149,490 | 147,240 | 4,03 |
| Id. de Gambsheim, au Neugrad | 17,100 | | 160,174 | 159,664 | 155,944 | 155,804 | 3,86 |
| Id. d'Offendorf, au canton dit Schwartzluchkopf. | 5,400 | | 163,247 | 162,257 | 161,187 | 158,087 | 4,15 |
| Id. de Drusenheim, au canton dit Schwang. | 9,400 | | 167,257 | 166,837 | 165,195 | 161,557 | 5,28 |
| Id. de Fort-Louis, vis-à-vis Solingen | 8,700 | | 170,957 | 170,557 | 169,017 | 166,407 | 4,15 |
| Id. de Seltz, au Binselfelden. | 15,400 | | 176,717 | 176,307 | 174,907 | 172,047 | 4,26 |
| Id. de Lauterbourg, au canton dit Fahrkopf. | 18,900 | | 181,517 | 181,497 | 179,727 | 176,197 | 3,30 |
| Confluent de la Moder, limite de la front. entre la France et la Bavière | 5,400 | | » | 183,225 | 181,861 | 177,605 | 5,62 |
| | | 2[illegible],740 | | | | | |

**RENSEIGNEMENTS**

Hautes eaux à Mayence et à Neus. — La différence entre les hautes et basses eaux du Rhin à Mayence est de $6^{m},46$ ; à Neus, Prusse rhénane, cette différence est de $9^{m},25$.

Rhénomètre de Bâle. — D'après les renseignements qui avaient été donnés, l'on a adopté pour les plus basses eaux de Bâle le zéro du Rhénomètre de la culée gauche du pont.

Rhénomètre du Vieux-Brisach. — L'échelle d'après laquelle on observe au Rhénomètre du Vieux-Brisach étant descendante et toutes celles de la rive gauche étant ascendantes, l'on a pris pour le zéro de l'échelle le point des plus basses eaux connues.

*de la France vers la Bavière.*

| PENTES. | | | | | | PENTES PAR MÈTRE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| des plus basses eaux. | | des eaux moyennes. | | des plus hautes eaux. | | aux plus basses eaux. | | aux eaux moyennes. | | aux plus hautes eaux. | |
| Pentes partielles. | Pentes totales. | Pentes partielles. | Pentes totales. | Pentes partielles. | Pentes totales. | Pentes partielles. | Pentes moyennes. | Pentes partielles. | Pentes moyennes. | Pentes partielles. | Pentes moyennes. |
| m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| 10,147 | 12,282 | 0,245 | 1,999 | 0,470 | 2,825 | 0,000,367,500 | 0,001,000,877 | 0,000,607,500 | 0,000,767,000 | 0,001,175,000 | 0,001,239,000 |
| 2,135 | | 1,756 | | 2,355 | | 0,001,135,638 | | 0,000,934,043 | | 0,001,232,559 | |
| 1,192 | | 0,825 | | 0,802 | | 0,000,889,552 | | 0,000,615,672 | | 0,000,598,507 | |
| 0,640 | | 0,366 | | 0,140 | | 0,001,523,810 | | 0,000,871,429 | | 0,000,333,333 | |
| 28,296 | | 27,756 | | 26,026 | | 0,000,886,887 | | 0,000,964,024 | | 0,000,995,194 | |
| 27,364 | | 29,744 | | 30,644 | | 0,000,962,042 | | 0,000,908,364 | | 0,000,851,747 | |
| 8,186 | | 8,716 | | 10,336 | | 0,000,618,745 | | 0,000,638,806 | | 0,000,796,572 | |
| 22,173 | | 21,373 | | 22,493 | | 0,000,777,727 | | 0,000,749,667 | | 0,000,788,951 | |
| 22,884 | 142,660 | 22,784 | 143,955 | 22,224 | 142,230 | 0,000,615,530 | 0,000,641,284 | 0,000,611,651 | 0,000,647,015 | 0,000,596,616 | 0,000,639,331 |
| 8,394 | | 8,434 | | 8,564 | | 0,000,490,877 | | 0,000,494,386 | | 0,000,500,819 | |
| 2,573 | | 3,243 | | 2,283 | | 0,000,476,481 | | 0,000,600,336 | | 0,000,422,778 | |
| 4,600 | | 4,010 | | 3,470 | | 0,000,489,362 | | 0,000,426,596 | | 0,000,369,149 | |
| 3,720 | | 3,820 | | 4,850 | | 0,000,427,586 | | 0,000,439,080 | | 0,000,557,471 | |
| 5,730 | | 5,900 | | 5,640 | | 0,000,375,377 | | 0,000,383,117 | | 0,000,366,234 | |
| 6,190 | | 4,820 | | 4,130 | | 0,000,274,603 | | 0,000,255,026 | | 0,000,219,577 | |
| 1,728 | | 2,134 | | 1,408 | | 0,000,320,000 | | 0,000,395,185 | | 0,000,260,741 | |
| | 144,942 | | 143,934 | | 146,055 | | 0,000,644,932 | | 0,000,649,345 | | 0,000,649,884 |

COMPLÉMENTAIRES.

HAUTES EAUX DE BALE. — La cote des hautes eaux de Bâle, celle de crue de l'année 1641, étant de . . . $51^{m},350$

sera pour l'année 1801 de . . . $51^{m},345$

1764 de . . . $51^{m},764$

1817 de . . . $51^{m},990$

1826 de . . . $52^{m},060$

1740 et 1758 de . . . $52^{m},094$

1778 et 1791 de . . . $52^{m},424$

1824 de . . . $52^{m},575$

1819 de . . . $52^{m},700$

Lorsque les fleuves ou rivières aboutissent à une mer sujette aux marées, ou à un autre cours d'eau dont le niveau est variable, la partie inférieure de leur plan et de leur profil varie sans cesse. Cette variation est périodique dans le premier cas, suivant que les marées sont basses ou hautes, suivant qu'elles sont de morte-eau (quartiers de la lune)ou de vive-eau (pleines et nouvelles lunes), et enfin suivant qu'elles sont marées ordinaires ou marées d'équinoxes.

Indépendamment de *toute variation dans le volume des eaux*, leur vitesse dans le même fleuve aurait toujours été en augmentant, quoique à des degrés toujours moindres de l'amont à l'aval, si la viscosité des eaux et leurs frottements contre le fond et les parois, croissant en même temps que la vitesse et dans une proportion plus grande, n'eussent contre-balancé l'influence de la pente et amené l'uniformité de vitesse en chaque point.

La vitesse n'est pas la même, au reste, sur tous les points de la même section transversale; elle est la plus grande possible dans le *thalweg*, qui est défini par cette circonstance. En dehors du thalweg il y a, surtout dans les élargissements brusques de section, des zones d'eau stagnantes et même animées d'une vitesse en sens contraire de celle du courant principal de l'amont vers l'aval; ces courants se nomment, selon les localités, *remous* et *contre-courants*. Un explication très-plausible en a été donnée par Venturi, dans un mémoire fort remarquable sur la *communication latérale du mouvement des eaux*.

Dans le thalweg, la vitesse n'est pas non plus la même au fond et à la surface de l'eau. Dans les rivières peu profondes, le maximum de vitesse paraît être à la surface. On prend ordinairement les $\frac{4}{5}$ de cette vitesse maximum pour la vitesse *moyenne des eaux coulant dans le même sens*.

On a déjà mentionné, à l'article *Ponts en maçonnerie*, les règles théoriques auxquelles M. Navier était arrivé pour les rapports des vitesses moyennes et maximum dans le mouvement *linéaire* des eaux. Le tableau ci-dessous donne les vitesses de quelques cours d'eau :

| | Mètres. |
|---|---|
| Vitesse ordinaire, par seconde, des petites rivières des environs de Paris, la pente étant $0^m,00018$ par mètre | 0,28 |
| Vitesse de la Seine entre Surène et Neuilly, observée par M. de Chézy, la hauteur sur les basses eaux étant $1^m,26$ et la pente par mètre $0^m,000125$ | 0,78 |
| Vitesse de la Seine dans l'intérieur de Paris, l'eau étant à $0^m,6$ sur l'étiage, et la pente par mètre 0,00055 | 1,00 |
| Idem, l'eau étant à 6 mètres sur l'étiage et la pente $0^m,0006$ par mètre | 1,90 |
| Plus grande vitesse de la Tamise à Londres pendant le flux | 0,90 |
| Pendant le reflux | 0,76 |
| Vitesse du Tibre, à Rome. dans les basses eaux | 1,00 |
| Vitesse du Danube, à Ebersdorff, dans les basses eaux | 1,05 |

Dans les grandes eaux cette vitesse varie de $2^m,21$ à $3^m,79$.

| | |
|---|---|
| Vitesse de la Loire, la pente étant $0^m,000382$ par mètre | 1,30 |
| Vitesse du Rhône, à Arles, dans les basses eaux | 1,46 |
| Vitesse du Rhône, à Beaucaire, à la même époque | 2,60 |
| Vitesse ordinaire de la Durance, depuis Sisteron jusqu'à son embouchure, la hauteur des eaux sur l'étiage ne surpassant point 3 mètres | 2,60 |
| Vitesse du Marsgnon au détroit du Pongo, observée par M. de La Condamine | 3,90 |
| Vitesse d'un torrent provenant d'une fonte de neige causée par l'éruption d'un volcan, observé en Amérique par Bouguer | 7,80 |

Vitesses du Rhin indiquées par M. Defontaine dans le mémoire sur les travaux de ce fleuve inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833 :

| | | |
|---|---|---|
| Dans les plus basses eaux. | La plus grande vitesse est, par seconde, de. | 2,67 |
| | Et en amont du Vieux-Brisach, le volume d'eau étant alors 340 mètres cubes par seconde et la pente de $0^m,908$ par kilomètre. | |
| | Et la plus petite de | 0,97 |
| | A la limite du territoire bavarois, le volume d'eau étant alors 465 mètres cubes par seconde, et la pente de $0^m,32$ par kilomètre. | |
| Dans les eaux moyennes. | La plus grande vitesse est. | 2,87 |
| | Au-dessus du Vieux-Brisach, où le volume d'eau par seconde est alors de 883 mètres cubes et la pente de $0^m,749$ par kilomètre. | |
| | La plus petite vitesse est près de la frontière bavaroise. | 1,50 |
| | Le volume d'eau étant alors par seconde de 1,106 mètres cubes, et la pente moyenne de $0^m,395$ par kilomètre. | |
| Dans les grandes eaux. | La plus grande vitesse est de | 4,16 |
| | A Bâle, lorsque le volume d'eau s'élève à 4,624 mèt. cubes par seconde, et la pente moyenne à $1^m,175$ par kilomètre. | |
| | La plus petite vitesse est d'environ. | 2,85 |
| | Le volume d'eau par seconde étant alors de 5,010 mètres cubes, et la pente moyenne de $0^m,260$ par kilomètre. | |

La variété des largeurs et profondeurs d'eau dans les diverses circonstances empêche de trouver aucune relation générale entre les vitesses, les pentes et les périmètres mouillés.

A mesure qu'on s'éloigne de la source, les cours d'eau rencontrent des affluents permanents dont le volume accroît le volume d'eau primitif, et de là une augmentation progressive dans la section.

Les nombreux circuits de la plupart des fleuves tiennent à la mobilité des eaux, qui se portent toujours vers les points où elles éprouvent le moins de résistance à leur marche. Des reliefs permanents dans le sol, la nature inégalement résistante de ce dernier, ont causé la plupart de ces déviations, qui, amortissant aussi une partie de la vitesse, ont contribué à hâter l'uniformité du régime.

Étiage et crues des eaux.

Le volume des eaux de quelques rivières varie entre des limites très-distantes. Ainsi, dans les crues régulières causées par la fonte des neiges, ou dans des crues irrégulières à la suite d'orages, le volume d'eau a été, pour certains fleuves, centuple de celui des eaux moyennes, et trois à quatre cents fois plus grand que celui des basses

eaux. Les crues produisent à la fois augmentation de profondeur d'eau et de vitesse, et souvent de section, dans toutes les zones où les *marées n'exercent pas une action prépondérante.*

Le niveau le plus bas ou l'*étiage*, et le niveau le plus élevé des crues sont, dans chaque cours d'eau et pour chaque point de son cours, des circonstances importantes à observer. Entre ces deux niveaux, les eaux oscillent continuellement.

On appelle lit *mineur* la section inférieure du débouché d'une rivière dans les eaux ordinaires; lit *majeur*, le section supérieure à la précédente et qui n'est occupée par les eaux que dans leurs crues.

D'après des observations faites sur plusieurs rivières de l'intérieur de la France, l'étiage a lieu en juin, juillet, août et septembre, et les hautes eaux en novembre, décembre, janvier, février et mars. Cependant, suivant que les sources du fleuve et de ses affluents sont placées dans des montagnes couvertes de neiges perpétuelles ou passagères, suivant la sécheresse d'un hiver froid, il peut y avoir des étiages d'hiver et d'été, et un étiage d'hiver plus bas que celui d'été. Ainsi, sur le Rhin, il y a eu des crues extraordinaires en mars, juillet, août, novembre et décembre, et des eaux très-basses en janvier, février et octobre. (Voir les tableaux graphiques sur les mouvements des eaux du Rhin, par M. l'ingénieur Defontaine, insérés dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1833.)

Les crues peuvent, à raison des mêmes circonstances, se produire en été et en hiver.

Dans les crues qui sont dues aux eaux pluviales, il est évident qu'il faut tenir compte de la quantité d'eau qui pénètre dans la terre déjà plus ou moins saturée d'eau, et qui n'arrive à la rivière que par intervalles variables après la *crue directe*.

D'ailleurs, à raison du plus ou moins de développement des affluents, leurs crues, quoique placées sous l'influence de la même cause, peuvent ne pas arriver simultanément au débouché commun. Ainsi, des pluies simultanées peuvent donner lieu à des crues successives, et des pluies successives peuvent produire une seule crue instantanée.

Le courant est aussi quelquefois grossi par des sources artésiennes remarquées dans plusieurs rivières.

Enfin, la nature du sol riverain a aussi de l'influence sur la force des crues : s'il est sablonneux, il recevra une grande nappe d'eau qui ne s'échappera que peu à peu dans les basses eaux, tandis que s'il est argileux, la rivière sera isolée des terrains environnants.

Le déboisement des montagnes a augmenté de beaucoup les variations brusques dans le cours des eaux; les produits de la fonte des neiges et des eaux pluviales glissent sans être arrêtés, comme autrefois, par les racines des arbres et par les végétations qui recouvraient les flancs des reliefs des terrains; elles arrivent ainsi presque instantanément et de toutes parts au fond des vallées. Ces eaux ne s'infiltrent plus dans

le sol avec lenteur, n'alimentent plus les sources, et la plupart des rivières de France sont à sec pendant l'étiage, ou débordées après un orage, et n'ont plus *un régime permanent*. Mais les conséquences de cet état de choses apparaîtront encore plus graves si l'on considère les crues sous le rapport des terres dont elles se chargent, des corrosions qu'elles exercent sur les rives, des atterrissements qu'elles développent dans le lit des fleuves et rivières.

Dubuat en France et des ingénieurs anglais ont donné les indications numériques suivantes sur les vitesses des eaux en équilibre avec la ténacité et la pesanteur spécifique des diverses matières : Action des eaux en mouvement sur diverses matières.

| MATIÈRES qui résistent aux vitesses indiquées et qui céderaient à des vitesses plus grandes. | VITESSE PAR SECONDE | |
|---|---|---|
| | selon Dubuat. | selon les ingénieurs anglais |
| | m. | m. |
| Terre détrempée, boue. | » | 0,076 |
| Argile brune de poterie. | 0,081 | |
| Argile tendre. | » | 0,152 |
| Gros sable jaune. | 0,217 | |
| Sable ordinaire. | » | 0,305 |
| Gravier de la Seine — gros comme un grain d'anis. | 0,108 | |
| Gravier de la Seine — gros comme un pois. | 0,181 | |
| Gravier de la Seine — gros comme une fève de marais. | 0,325 | |
| Gravier en général. | » | 0,609 |
| Galets de mer arrondis de 0m,027 de diamètre. | 0,65 | |
| Cailloux. | » | 0,914 |
| Silex anguleux du volume d'un œuf de poule. | 0 975 | |
| Pierres cassées. | » | 1,22 |
| Cailloux agglomérés, schiste tendre. | » | 1,52 |
| Roches feuilletées. | » | 1,83 |
| Roches dures. | » | 3,05 |

On voit que des vitesses très-faibles dans les eaux peuvent corroder des rives terreuses. La destruction est favorisée par le clapotage de l'eau, les frottements des glaçons, les alternatives de sécheresse et d'humidité, etc., et surtout par les gelées. D'ailleurs les débris des berges, en tombant au fond, garantissent ce dernier, lequel est déjà protégé par des plantes aquatiques quand *la profondeur d'eau est toutefois au-dessous de 2 mètres*. Causes des atterrissements et des corrosions des parois des rivières et fleuves.

Lorsque les rivières gèlent, l'eau coule au-dessous de la surface comme dans un tuyau, et attaque le fond jusqu'à ce que la débâcle ait soulevé la croûte de glace.

Un obstacle isolé, naturel ou artificiel, opposé au cours des eaux tend à les grossir à l'amont, et à accélérer leur vitesse à l'aval ; et si le fond est susceptible de céder à la nouvelle vitesse, il éprouve un affouillement.

Lorsqu'une rive est attaquée et cède, le coude commencé tend à s'agrandir de plus en plus ; les bords deviennent plus abrupts ; la profondeur d'eau augmente, et le courant dépose les matières enlevées sur la berge opposée, qui devient convexe en s'atterrissant ; les sinuosités qui en résultent s'avancent de l'amont vers l'aval.

M. l'ingénieur Defontaine avait observé sur le Rhin, fleuve à fond de sable et de

gravier, et sujet à des crues subites d'une grande violence, que les courbures dans lesquelles les rives n'étaient pas sensiblement affouillées avaient 2,500 mètres pour rayon; et que toute courbure *protégée par des ouvrages d'art*, et telle qu'il n'y eût aux plus grandes crues que 11 mètres de profondeur d'eau, ne devait avoir que 1,250 mètres de rayon, pour que *les ouvrages de défense ne fussent pas compromis*.

Tout enfoncement, toute saillie brusque sur les rives *ou sur le fond*, produit des tournoiements et remous attribués par Venturi à la communication latérale du mouvement; et si le fond est susceptible d'être entraîné, il y a aussi affouillement sur certains points et atterrissement sur d'autres. Ainsi, la rencontre de deux rivières de mêmes volume d'eau et vitesse, sous un angle presque droit, non-seulement produit un mouvement final oblique aux courants primitifs, *mais aussi des tournoiements*.

Pl. 66 Fig. 320. Un éperon insubmersible saillant sur une rive détermine également des tournoiements à l'amont et à l'aval, des affouillements à la pointe si le fond peut céder, et des atterrissements dans l'angle aval de l'éperon avec la rive, et *quelquefois même à l'amont*. Les riverains de la plupart des fleuves connaissent fort bien ces effets, et par des plantations ou même de *simples objets flottants* qui ne semblaient avoir pour but que la défense de leurs propriétés, ont souvent porté l'action de l'eau sur les rives opposées et déterminé abusivement des atterrissements à leur profit.

Feu M. Lamblardie père, dans l'analyse déjà citée du Cours de construction fait à l'École polytechnique, assignait aussi les vents régnants comme une des causes d'atterrissements et de l'élévation progressive du fond des fleuves aux dépens des reliefs des terrains des bassins riverains. Il en démontrait l'influence par cette circonstance que les fleuves sont en général plus profonds au pied des côtes les plus escarpées et les plus exposées aux vents régnants.

Si à toutes ces causes de perturbations dans le régime ordinaire des cours d'eau, on joint les crues régulières et irrégulières, on appréciera les difficultés des ouvrages destinés à maintenir ou améliorer la navigation d'une rivière.

En effet, les crues, à raison de leurs vitesses, augmentent les corrosions commencées (l'on a vu sur le Rhin 20 mètres de profondeur de littoral enlevés dans un seul jour); par leur hauteur, elles atteignent des terrains jusque-là intacts, et sont ainsi chargées du maximum de matières en suspension. Mais dès que leur intensité diminue *en masse*, ou que leur vitesse se ralentit momentanément par une cause accidentelle, les eaux déposent progressivement, et *dans l'ordre des pesanteurs spécifiques*, une partie de leurs troubles. Il s'établit donc de nouveaux rapports entre le débouché de la section, le volume des eaux, la vitesse, la pente et le périmètre mouillé des parois. Dans les zones aval, le fond se sera relevé, la section sera devenue moins capable de suffire à une crue subséquente; et si les parois résistent moins que le fond, il en résultera un élargissement de la rivière en plusieurs bras, qui, dans la saison des eaux moyennes et basses, ne présenteront pourtant qu'une faible profondeur d'eau.

Dans les parties inférieures de fleuves débouchant à la mer, outre les causes d'atter-

rissement qu'on vient d'indiquer, il en est de spéciales. Ainsi, suivant les vents régnants et l'agitation de la mer sur les côtes au dehors, la mer pénètre dans les fleuves chargés de galets, de sable, de vase. Ces matières se déposent en même temps que les alluvions d'eau douce, lorsque les vitesses se ralentissent et deviennent nulles vers l'*étale* de marée haute. Au *jusant* ou mer descendante, les courants de la marée et de la rivière, agissant ensemble de l'amont à l'aval sur les dépôts, tantôt les enlèvent, tantôt sont déviés par eux et forcés de se frayer un nouveau lit. Ainsi les embouchures de la Loire, de la Seine, de la Garonne, du Rhin et du Rhône, celles du Pô et de l'Adige en Italie, présentent toutes des bancs mobiles entre lesquels le thalweg se dirige par de nombreuses sinuosités.

Les atterrissements qui relèvent ainsi le lit des fleuves à leurs confluents ou embouchures, relèvent par suite le niveau des eaux ordinaires et celui des crues, et forcent d'exhausser progressivement les digues.

Les digues du Pô dominent aujourd'hui de $12^m$ à $13^m$ les plaines environnantes, et ses alluvions s'avancent dans la mer de 70 mètres par an. Dans un avenir qui ne sera pas éloigné, il rompra ses digues et se frayera un nouveau chemin à la mer, où il subira ultérieurement les mêmes atterrissements. Pareilles causes produisent des effets analogues à l'embouchure des divers fleuves des États-Unis, et notamment au delta de l'embouchure du Mississipi.

**Configuration *locale* du profil longitudinal du thalweg des fleuves et rivières.**

Malgré la multitude des causes régulières ou irrégulières qui tendent à modifier les lits des cours d'eau, l'on a remarqué dans la plupart, surtout ceux à fond de sable ou de gravier, que par exception *locale* à la loi générale de diminution des pentes et vitesses depuis leur source jusqu'à la mer, il y avait alternativement : 1° des zones ou biefs, appelées vulgairement *racles* et *mouilles*, présentant une vitesse peu considérable et une assez grande profondeur d'eau ; 2° des hauts-fonds, gués, *barres* ou *maigres* nommés quelquefois *trémates* et placés le plus souvent vers les coudes des rivières, où la pente et la vitesse sont considérables, et correspondent à une très-faible profondeur d'eau. Ces hauts-fonds forment alors comme un *barrage submersible* qui relève le plan d'eau à l'amont. Pl. 66 Fig. 321.

Ainsi, sur la Garonne, depuis Toulouse jusqu'au département de Tarn-et-Garonne, sur 31,388 mètres de longueur, la pente moyenne est de $0^m,822$ par kilomètre, et dans un des hauts-fonds la pente a été trouvée de $0^m,057$ sur 10 mètres.

Sur la Loire, à l'étiage moyen, il n'y a presque qu'une mince tranche d'eau sur les barres, tandis que la profondeur est de 2 mètres dans les *mouilles*. Sur 29 lieues de longueur dans le département de Maine-et-Loire, les *mouilles* forment ensemble 26 lieues, et les *barres* 3 lieues.

Sur la Seine supérieure, entre Nogent et Paris, sur une longueur de 102,804 mètres, il y a soixante-quatre hauts-fonds dont dix-huit n'ont que $0^m,50$ à $0^m,70$ d'eau, et quarante-six seulement de $0^m,70$ à $0^m,90$ d'eau à l'étiage.

Sur la basse Seine, entre Rouen et Paris, la pente moyenne est de $0^m,10$ par kilo-

mètre, mais elle est loin d'être uniformément répartie ; car entre Elbeuf et Paris, la distance de 239,000 mètres se compose de treize *racles* ayant ensemble 131,400 mètres de longueur, et de treize maigres de 107,600 mètres de longueur. Les premiers présentent, presque sans aucune pente, une profondeur qui n'est presque jamais au-dessous de 2 mètres ; tandis que les *trémates*, qui absorbent presque toute la pente, ne présentent généralement que 1 mètre à 80 centimètres d'eau dans les mêmes circonstances.

Dans la Dordogne, en aval de l'embouchure de la Vezère, une pente moyenne de $0^m,07$ par kilomètre sur 29,540 mètres de longueur, quintuple de celle de la Seine, double de celle du Rhin, se répartit si inégalement, qu'elle est de 4,5 et jusqu'à 11 centimètres par kilomètre sur les hauts-fonds, et que la profondeur de l'eau varie de 4 mètres à $0^m,35$ dans les mêmes circonstances.

Dans l'Yonne il y a soixante-neuf hauts-fonds, sur une longueur totale de 119,870 mètres ; la pente moyenne, de $0^m,42$ par kilomètre, devient sur ces points $1^m,24$ et même $1^m,42$ par kilomètre.

La Meuse, entre Sedan et la frontière de la Belgique, présente 73 gués, dont la pente dépasse de beaucoup la pente moyenne de $0^m,35$ par kilomètre et qui ne conservent à l'étiage que $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur.

Il en est de même de la Moselle, de la Saône, etc., etc.

Dans plusieurs rivières, ces hauts-fonds sont des pointes de rocher qui ont déterminé des atterrissements.

*Des rivières navigables et flottables.*

Une rivière est dite *flottable* lorsque des trains de bois de chauffage ou de construction peuvent y trouver habituellement, *avec un débouché suffisant*, de l'eau pour la descente, soit par le cours régulier des eaux, soit en retenant celles-ci par des moyens d'art dans des biefs et en la laissant couler à époques périodiques, comme cela a lieu sur l'Yonne au-dessus d'Auxerre. Dans les basses eaux, on y lâche deux fois par semaine des retenues d'eau faites sur les affluents de la haute Yonne. La largeur minimum d'une rivière flottable est de 4 mètres, et sa profondeur minimum pour le flottage, de $0^m,50$.

Une rivière est dite *navigable*, soit relativement à des bâtiments à la voile, soit relativement à des bateaux à la rame ou halés. La navigation peut y être ascendante ou descendante ; dans l'un et l'autre cas, la rivière doit offrir une largeur et une profondeur d'eau suffisantes pour la circulation des bateaux ; mais de plus il y a une limite de vitesse au delà de laquelle il y aurait danger pour la descente, et dépense excessive pour la remonte.

La navigation à la *voile exclusivement* n'est guère praticable, à raison du peu de largeur et de profondeur des rivières, de leurs sinuosités et de l'encaissement de leurs vallées, que dans les parties inférieures de leur cours vers la mer, où les dénivellations

de celle-ci se font sentir : par exemple, sur la Seine, entre le Havre et Rouen ; sur la Loire, entre la mer et Nantes; sur la Garonne et la Dordogne, entre leur embouchure à la mer, et Bordeaux et Libourne. Plus haut, on ne profiterait que d'un très-petit nombre d'*aires de vent*, et l'on ne pourrait louvoyer ni *courir des bordées* comme en mer. Ce dernier mode est impraticable dès que le vent forme un angle de moins de 60 à 65 degrés avec la route du bateau.

La force du vent, *même favorable*, n'est guère employée habituellement à la remonte que sur des rivières dont la vitesse est au-dessous de 3 mètres par seconde, ce qui correspond à une pente d'environ $0^m,30$ par kilomètre, lorsque la largeur minimum de la rivière est de 20 mètres, et très-grande relativement à la profondeur des eaux. Ces pentes et vitesses résultent en effet de la formule de M. de Prony

$$V = -\ 0,07 + \sqrt{0,005 + 3233.\ \frac{lh}{l+2h}\ i}\ ;$$

où V est la vitesse en mètres par seconde, $i$ la pente par mètre, $l$ la largeur de la rivière, et $h$ sa profondeur, le mètre étant l'unité de mesure.

La limite supérieure de vitesse pour la descente et la remonte des bateaux par le halage était, soit par le raisonnement, soit par l'usage, fixée jusqu'à ce jour à la vitesse correspondante à 50 ou 60 centimètres de pente par kilomètre. Toutefois on navigue sur le Rhône avec $0^m,70$ et $0^m,80$ de pente par kilomètre en descendant, et une vitesse qui va quelquefois à 4 mètres, et qui est habituellement de 2 mètres. Il en est de même sur le Rhin, qu'on remonte d'ailleurs, ainsi que le Rhône, avec le secours de la voile. On cite la rivière de la Lys, en Belgique, qui est navigable sur 17 lieues avec une pente de 50 à 60 centimètres par kilomètre, parce que le fond est couvert d'herbes qu'il est défendu de couper, et que ces herbes font l'*effet d'un barrage submersible*.

Les bateaux les plus petits en usage dans le commerce ont $2^m,00$ de largeur, et $0^m,60$ de tirant *d'eau en charge*. Leur longueur qui, dans l'intérêt de l'économie de force motrice à la remonte, *doit être un maximum relativement à la largeur*, est limitée quelquefois à 8 mètres par les sinuosités et largeurs des cours d'eau, et est portée souvent jusqu'à 24 mètres ou douze fois la largeur. Leur chargement minimum est de 7 à 8 tonneaux. Tonnage et tirant d'eau des bateaux.

Mais comme il y a économie pour le commerce à avoir des bateaux du plus *grand tonnage possible*, tant sous le rapport de la dépense initiale que sous celui des frais courants, les dimensions des bâtiments sur les grandes rivières navigables deviennent 7 mètres de largeur avec 2 mètres de tirant d'eau en charge, 70 mètres de longueur; et leur tonnage s'élève jusqu'à 500 tonneaux.

On voit donc qu'une rivière peut être navigable par bateaux, *à différents degrés*, suivant que l'on considère la descente ou la remonte, les divers tirants d'eau et tonnages des bateaux employés, et le temps total, par an, pendant lequel les bateaux peuvent parcourir la rivière. Pour ce dernier élément, il y a défalcation à faire du

temps des basses eaux et des crues extraordinaires, où les bateaux ne trouveraient point assez d'eau, ou trouveraient une vitesse trop grande.

Du halage et de la remorque.

Les mouvements des bateaux à la remonte se font soit à la rame, soit par le halage, soit par la remorque à la vapeur.

Le halage s'opère ou par des moteurs animés (des animaux ou des hommes) cheminant sur les rives, ou par ces mêmes moteurs agissant dans le bateau même, sur divers appareils de traction dont les points fixes sont échelonnés régulièrement sur la rive.

La remorque à la vapeur s'opère également ou par l'action de la vapeur sur des mécanismes de roues à palettes et autres fonctionnant sur l'eau, ou par traction sur des points fixes échelonnés comme il vient d'être dit. On renvoie au Mémoire de feu M. Marestier sur les bateaux à vapeur, et à celui de MM. Tourasse et Mellet pour la comparaison de ces divers systèmes à la remonte et à la descente. La figure 322 des planches reproduit le treuil à pression imaginé par M. de Bettancourt pour le halage et la remonte sur le Volga en Russie.

Pl. 66 Fig. 322.

Un cheval qui ne peut traîner au pas, avec une vitesse de $0^m,80$ à $1^m,00$ par seconde, qu'un poids égal :

Sur une route ordinaire empierrée, à 20 fois son effort de traction évalué à. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 50 kil., c'est-à-dire 1 ton.;

Sur une route horizontale pavée qu'à 29 fois. . . . 50 kil., c'est-à-dire 1 ton. 5;

Sur un chemin de fer qu'à 200 fois . . . . . . . 50 kil., c'est-à-dire 10 ton.;

Transporte sur une eau dormante un poids qui va jusqu'à 1,200 fois environ l'effort de traction, ou (1) 60 tonneaux.

Jusqu'ici on avait admis que la résistance croissait avec le carré des vitesses; ainsi en supposant la remonte sur une rivière dont la vitesse serait de 1 mètre par seconde, la vitesse *relative* du cheval marchant avec la vitesse *absolue* de 1 mètre par seconde qu'il avait sur une eau dormante deviendrait 2 mètres, et la charge traînée ne serait que le quart des 60 tonneaux ci-dessus, ou . . . . . . . . . . . . 15 ton.

Si la vitesse de la rivière était de trois mètres, et celle du cheval toujours un mètre par seconde, la charge qu'il mouvrait serait d'environ $\frac{1}{16}$ de 60 ton. ou . . . $3^{ton.}$ 8.

La loi du carré des vitesses paraissait avoir été infirmée par des expériences faites au canal Calédonien sur des vitesses au delà de 3 à 4 mètres par seconde (voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, 1833, 1834 et 1835). L'on avait cherché à expliquer ces faits nouveaux, en exposant que dans les grandes vitesses la surface immergée diminuait à l'avant et à l'arrière; qu'il se faisait un vide à l'arrière, et que la

Bateaux marchant à grande vitesse.

(1) On a payé, sur le canal du Midi, 180 fr. pour le *transport* en huit jours de 100 tonneaux traînés par un seul cheval, sur une longueur totale de 61 lieues (244,000 mètres d'eaux *stagnantes*); ce prix de 180 fr. comprend toutes les dépenses, sauf les droits de péage et de navigation. Le prix de revient pour le transport est donc de moins de $0^f,04$ par tonneau et par lieue, et $0^f,01$ par tonneau et par kilomètre.

vitesse de rentrée de l'eau dans ce vide était moindre que celle du halage à grande vitesse. Depuis, M. John Russel, dans un mémoire fort important dont la traduction est dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1837, a traité la même question. Entre autres faits sur lesquels il a appelé l'attention, est celui du gonflement de l'eau sous forme d'ondes qui précèdent un bateau en marche, et qui facilitent son passage sur des points où il n'y aurait pas eu *sans cela une profondeur suffisante.*

Ces expériences se répètent sur le canal de l'Ourcq; elles semblent annoncer que le système de halage à grande vitesse par chevaux aurait plus de chances de succès pour *remonter le fleuve que pour le descendre.* Mais il exige des embarcations d'une grande longueur relativement à leur largeur, et d'un faible tirant d'eau. De plus, une corrélation intime paraît exister entre les dimensions des bateaux de celle du canal. Enfin, sous le point de vue *économique*, le halage à *très-grande* vitesse par chevaux ne semblerait pas préférable au transport ou remorque par bateaux à vapeur.

Toutefois, on a remarqué sur les étangs au débouché du canal du Midi, où les paquebots et bateaux de poste marchent avec des vitesses de 3 lieues à l'heure, $3^m,30$ par seconde, que la totalité des dépenses pour le halage par chevaux pour 15 lieues de trajet n'était que de 8,000 fr., ou un tiers environ de celle des frais de remorque à la vapeur pour une distance égale.

Au reste, les expériences qu'on vient de citer et dont la portée avait paru d'abord très-grande pour la navigation, ont établi aussi qu'une grande vitesse de halage causait un batillage très-dommageable pour les rives, et forcerait de les revêtir en pierres sèches au moins dans les zones *voisines du niveau de l'eau.*

La remorque à la vapeur au moyen de roues dispenserait de chemin de halage et même de *marchepieds;* cette même remorque par le touage sur des points fixes des rives, permettrait de se restreindre à un *marchepied;* mais l'emploi des bâtiments à vapeur sur les rivières sera longtemps encore et peut-être toujours limité aux rivières sinueuses et au service des paquebots pour les voyageurs et les marchandises qui exigent beaucoup de célérité.

On a cru remarquer en Écosse, sur la Clyde, que l'agitation communiquée à l'eau par les roues à aubes des bateaux à vapeur, se transmettait aux sables et vases molles du fond, qu'elle remettait en suspension et faisait cheminer avec le bateau en approfondissant ainsi le fond de la rivière.

D'après ce qui précède, on peut déjà pressentir que les ouvrages qui tendront à diminuer la vitesse ou la pente d'un cours d'eau, et qui n'altéreront pas essentiellement d'autres conditions du régime, amèneront deux résultats : le premier sera une augmentation de la profondeur d'eau minimum, qui réduira les entraves de la navigation existante et y permettra l'emploi, économique pour le commerce, de bateaux d'un plus fort tonnage; le second résultat sera d'économiser la force motrice dans la navigation ascendante, et de diminuer les risques pour la navigation descendante.

Le chemin de halage doit être établi sur celle des rives où le fleuve est le plus pro- Chemins et marchepieds de halage.

fond, et tout à fait sur le bord, afin, d'une part, qu'il y ait moins d'entraves dans le passage des cordes, et que, d'autre part, la traction soit moins oblique. On recommande aussi de placer le chemin de halage autant que possible sous le vent régnant, afin que l'action de ce dernier ne se réunisse pas à celle du halage pour affaler le bateau contre les rives. Le minimum de largeur d'un chemin de halage au couronnement est 4 mètres.

Indépendamment du chemin de halage d'une rive, il est nécessaire qu'on puisse placer sur l'autre rive des amarres et autres objets; il est quelquefois nécessaire aussi de tirer des deux côtés pour maintenir un bateau dans le thalweg; de là l'établissement d'un marchepied d'au moins 2 mètres de largeur.

D'après l'ancienne ordonnance de 1669, les propriétaires riverains des rivières navigables subissent le halage comme une servitude, sur 30 pieds (9$^m$,70) de largeur pour le chemin, et 10 pieds (3$^m$,26) pour le marchepied; mais on n'a pas le droit de paver le chemin, d'y faire des remblais ou autres travaux qui en dénatureraient la propriété. Quand on veut améliorer le halage, il faut donc acheter le terrain. Bien qu'il soit très-incommode que le halage passe d'une rive à l'autre, cependant les usages anciens, motivés, à l'origine dans beaucoup de localités, par les sinuosités du thalweg, ont été généralement maintenus.

Les chemins de halage et marchepieds sont insubmersibles aux crues où la navigation montante ou descendante est possible, mais submersibles aux crues plus élevées.

Ces chemins sont interrompus aux divers ponts qui existent sur les fleuves navigables; à moins qu'on n'ait réservé, comme au pont Louis XVI, deux banquettes sous les arches extrêmes des rives; ou, comme au pont de Neuilly, deux arches marinières dans le massif des culées; mais l'une et l'autre de ces dispositions supposent que le chenal navigable n'est pas très-éloigné des rives; dans le cas contraire, il faut des arganeaux aux piles de l'arche que le thalweg traverse, et des pieux d'amarrage ou bouées aux débouchés des arches.

Ces chemins de halage et marchepieds sont aussi coupés par les fossés et cours d'eau affluents, et il faut dès lors des ponts de 2$^m$,50 à 3$^m$ de voie pour franchir ces obstacles. Leur construction est la même que celle des ponts ordinaires; seulement, pour que la corde de halage ne soit point accrochée, il faut supprimer le parapet du pont du côté
Pl. 66. Fig. 323. de la rivière, ou le raccorder par des parties inclinées avec les rives du chemin à l'amont et à l'aval.

Lorsque le chemin de halage doit traverser des ruisseaux beaucoup plus larges à l'embouchure qu'à une petite distance en amont, on peut les franchir sans passerelles, en accélérant la vitesse des moteurs avant d'arriver à l'embouchure, et en profitant de cette accélération pour leur faire remonter le gué en amont.

Les chemins de halage pouvant être fréquentés par des chevaux, et servant aussi de chemins d'exploitation, doivent être empierrés et entretenus comme les chaussées des routes. Par la même analogie, on pratique souvent des fossés sur leurs rives.

*Ouvrages de conservation du lit et des parois de rive des rivières.*

Les ouvrages de conservation du lit des fleuves ont le double objet de préserver les terrains riverains des corrosions des eaux, et de maintenir celles-ci dans leurs directions et à la même distance des chemins de halage et marchepieds. L'on peut y comprendre les dragages réguliers qui enlèvent les dépôts d'allnvions.

Ces ouvrages, à raison de leur grand développement, doivent d'ailleurs être exécutés dans le système le plus économique possible.

Ils sont d'nne grande importauce sur les fleuves d'une vitesse rapide, tels que le Rhin, le Rhône, la Dordogue, et sur le Rhin surtout, dout les deux rives appartiennent à deux nations différeutes, quelqnefois en état de guerre. Il y est souvent arrivé que les onvrages défensifs d'une rive étaient en quelqne sorte agressifs ponr la rive opposée vers laquelle ils dirigeaient le thalweg. Ce fleuve, dont les crues occupaient primitivement nne grande partie de la vallée de 12,000 mètres de large où il coule, a été resserré progressivement dans son lit actuel par la construction de digues insubmersibles d'au moins 3 mètres de largenr au couronnement et disposées sur plusieurs lignes à peu près parallèles. Des terrains de la plus grande fertilité, intermédiaires à ces digues, ont été ainsi acquis à l'agriculture. Si le fleuve dans ses crues rompait une partie des digues latérales, la submersion ne serait qne partielle, et les eaux d'inondation seraient ramenées dans le lit du fleuve après le passage de la crue. Les levées de la Loire sur la rive droite entre Orléans et Angers ont eu le même but.

Les inondations des terrains riverains par les crues de grands fleuves, tels que le Rhin, la Loire et le Rhône en France, l'Arno et le Pô en Italie, ont produit un résultat fort remarquable ; c'est que les zones les plus voisines des fleuves sont généralement plns élevées qne celles qui en sont plns éloignées, et qui avoisinent les flancs des vallées. Cela tient à ce que les grandes crues déposent immédiatement près des berges les matières les plus volnmineuses et les plus lourdes, et qu'elles sont beaucoup moins chargées quand elles s'étendent au loin. La mer produit les mêmes effets sur les lagunes ou *polders* aux embranchements des fleuves. Mais ici l'action du vent sur les sables rejetés par les vagues sur la plage concourt avec celle des marées. Il en résulte à la longue la formation de marais, parce qne les eaux pluviales et celles des sources ne peuvent plns se rendre dans les fleuves dont les crues ont produit ce fâcheux état de choses.

Les plantations d'arbres aquatiques et flexibles comme le saule, ou celles d'autres essences dont les racines s'épanouissent superficiellement et forment réseau, sont un premier moyen de conservation des rives et des talus des digues et levées ; car en même temps qu'elles préservent de la corrosion, elles retiennent les troubles charriés par les eaux. Mais ce moyen, quoique applicable à toutes les localités, s'il n'est pas pratiqué à la fois sur les deux rives, peut protéger l'une aux dépens de l'autre. Plantations.

Pour faciliter le développement des plantations, on garnit souvent leurs intervalles, dans les premiers temps, de gros moellons qu'on retire ensuite.

Les autres moyens de conservation varient suivant la nature des troubles du fleuve, suivant sa vitesse, la nature du terrain des rives, et surtout suivant la nature des *matériaux à bon marché* dont on peut disposer.

Enrochements continus.

Pl. 66. Fig. 324.

Des enrochements en gros blocs de pierre ou de béton; des enrochements en saucissons, en paniers d'osier de diverses formes et contenances remplis de gravier; enfin des enrochements mixtes formés des mélanges de ces matériaux, ont réussi surtout pour les parties *immergées* des rives, quand les parties émergées dressées en talus étaient plantées ou garnies de pérés à joints réguliers ou irréguliers.

Les pérés en maçonnerie de pierres sèches des levées de la Loire sont remarquables par leur peu d'épaisseur, par la bonté et la solidité de leur construction. Ils ont $1\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur; une couche de gravier est placée en arrière de leur intrados; leur fondation est au reste un sillon tracé dans le sable sous l'étiage, et rempli par de la maçonnerie en pierres sèches.

Pl. 67. Fig. 325.

Mais comme la stabilité des enrochements est incertaine, et qu'un seul bloc détaché suffirait pour disloquer l'ensemble, il a paru utile, surtout quand ils forment la base de pérés supérieurs, d'établir sur la Loire une et même deux lignes riveraines de pieux équidistants de 1 mètre environ dans chaque ligne.

Pl. 67. Fig. 326.

Ces moyens seraient inefficaces sur le Rhin, dont les eaux, toujours obliques aux rives qu'elles atteignent, creusent, en quelques heures de crues, de véritables gouffres dans le sable; et M. l'ingénieur Defontaine recommande alors le système mixte d'enrochements des figures 326 des planches.

Revêtements en charpente.

Pl. 67. Fig. 327.

Les revêtements en bois des rives sont efficaces lorsqu'on emploie des pieux très-longs au pied de ces revêtements et *lorsque les affouillements sont peu à craindre;* mais ces ouvrages sont très-coûteux et par la dépense première et par les entretiens et renouvellements. Les figures 327 des planches en indiquent quelques exemples.

Revêtements continus mixtes ou exclusivement en fascinages.

Le prix élevé de la pierre, l'abondance et le bas prix du gravier et des bois aquatiques ont déterminé, sur les bords du Rhin et en Hollande, à substituer les ouvrages en tunages aux pérés et aux enrochements.

Ces ouvrages ne sont pas, à la vérité, d'une grande durée absolue, mais leur durée *relative* est suffisante dans les rivières à atterrissements, puisqu'elle donne le temps à ceux-ci de se former.

Sur le Rhin, ces tunages, dont il a été question dans la 9[e] leçon de la première partie, consistent, pour la partie immergée à l'étiage, en couches flottantes de fascines profondément enracinées dans la rive, qui s'avancent vers le large et qu'on fait couler par des couches de gravier. On les fixe ensuite au sol ou aux couches précédemment immergées, à l'aide de piquetages. Ce travail est divisé de manière que les couches de fascines flottent toujours à leurs extrémités vers le fleuve, afin de servir d'*amorces* pour continuer progressivement vers le thalweg cette *espèce de tapis*, qui par sa flexibilité s'adapte d'ailleurs aux diverses formes du fond.

Une grande célérité est nécessaire dana l'exécution, ponr éviter les corrosions et affouillements trop considérables que développerait la vitesse de l'eau croissante sous les couches flottantes des fascinages.

En Hollande, on défend nne rive entamée par les courants à l'aide des plates-formes échouées décrites dans la première partie (fig. 36 des planches). Mais la remorque et l'immersion de ces nappes colossales seraient impraticables partout où le courant serait très-violent. Pl. 7. Fig. 36

Les parties de rives supérieures à l'étiage sont exécutées de diverses manières :

1° En tunages de soutènemeut, c'est-à-dire par couches de fascines disposées constamment en *boutisses*, et reliées dans le sens de la hauteur par des rangs de piquets. Pl. 67. Fig. 328.

Ces piquets forment, comme les renforts, de petites parois en clayonnage, tressées d'un piquet à l'autre.

Contre ces parois on place du sable, du gravier et de la terre pour *lester* le système ; puis on recommence de nouvelles couches de fascinea en retraite sur les précédentes, snivant le talus en gradins adopté, et dont la base peut varier de 1 à 3 pour 1 de hauteur.

2° Par des pérés.

3° Par une combinaison des denx modes 1er et 2e ci-dessus et ainsi qn'il est indiqué par les fig. 329 des planches. Pl. 67. Fig 329

4° Par de simples talus en terre avec banquettes plantées.

Les épis ou éperons, saillants plus ou moins sur les rives, ont pour objet non-seulement de les protéger, mais de former en amont et en aval, daua les rivières chargées de troubles, une plage en atterrissements. Ils peuvent être, entièrement ou en partie, insubmersibles ou submersibles, auivant les localités, et être exécutés en enrochements, charpente, fascinages, ou en combinaisona mixtes de ces matériaux. Dans des cours d'eau pen considérables, les épis peuvent être de simples clayonnages, et ces clayonnages peuvent eux-mêmes être restreints à des tiges d'arbres appuyées de l'amont à l'aval, et entrelacées par leurs branches avec des piquets équidistants, ainsi qu'il a été fait par M. l'ingénienr Laval ponr les redressements de la rivière de la Midouze dans les Landes (fig. 331 des planches). Épis ou éperons saillants sur les rives. Pl. 67. Fig. 331.

Le tracé des épis peut être droit ou brisé, rectiligne ou mixtiligne, relativement au courant d'eau ; ils peuvent former avec lui un angle obtus de l'amont à l'aval, ou de 90°, on même aigu.

Toutes ces combinaisons ont été essayées, et ont leurs avantages et leurs inconvénients. Pl. 66. Fig 320.

Un premier inconvénient des épia en général est de dévier le thalweg et de l'infléchir sur la rive opposée, à moins qu'on n'établisse sur celle-ci un *épi symétrique* ; à défaut de cette précaution, le courant, après avoir choqué la rive opposée, viendrait frapper la rive dont il aurait été détourné, et à l'aval de l'épi ; ce qui nécessiterait en ce point un second ouvrage du même genre.

On a remarqué qu'un épi garantissait à l'amont une longueur double et à l'aval une longueur triple de sa saillie sur la rive : il y aurait donc avantage à donner de grandes saillies, s'il n'en résultait des sinuosités fâcheuses dans le thalweg, des corrosions plus fortes à l'aval, et si l'augmentation de saillie ne rendait pas les épis eux-mêmes plus *attaquables aux courants*, surtout à leur tête et lors des crues.

Dans quelques rivières, l'on a donné aux épis pour saillie le $\frac{1}{10}$ et jusques au $\frac{1}{7}$ de la largeur de la rivière. Dans les rivières très-larges, la saillie est d'ordinaire de 15 à 20 mètres; sur le Rhin, elle a été portée jusqu'à 50 mètres, et l'on a pensé qu'elle pourrait même être étendue jusqu'à 80 mètres par un mode plus judicieux d'exécution des épis.

La direction normale de ces éperons par rapport au courant correspond au minimum de longueur de cet ouvrage, et paraît la plus favorable aux atterrissements, parce qu'il s'établit *un triangle* d'eau stagnante : mais cette direction expose l'épi à toute l'action du courant, et peut, dans les crues, hâter sa destruction. Anciennement dans le Rhin on donnait toujours aux épis une direction inclinée de l'amont vers l'aval, faisant un angle d'environ 135 degrés avec la berge à l'amont, et les riverains croient avoir remarqué que ces ouvrages résistaient alors mieux aux crues.

Les épis sur le Rhin étaient aussi primitivement *submersibles* sur toute leur longueur; ils protégeaient efficacement contre les crues à quelque distance en amont et à l'aval ; mais il y avait des corrosions dans les angles rentrants des épis avec les rives, lesquelles tendaient à déraciner l'épi. Aujourd'hui l'enracinement est aux hautes eaux, *mais la tête de l'épi* est placée au niveau des basses eaux.

La plupart des épis existants sont rectilignes, probablement pour établir la plus grande solidarité possible entre les matériaux dont ils sont formés. Leur enracinement dans les rives exige une grande solidité; aussi les épis ont, autant que possible, une augmentation progressive de largeur depuis la tête jusqu'à la rive, et des raccordements curvilignes avec cette dernière, dans laquelle ils pénètrent au reste par des espèces de *tenons* simples ou multiples.

Les épis en enrochements de pierres ou de paniers à gravier, les épis en charpente ou en fascinages, sont disposés de manière à recueillir dans leurs interstices les troubles charriés par les eaux ; les épis en fascinages ont particulièrement cette propriété.

M. l'ingénieur Defontaine recommande, dans son mémoire sur les travaux du Rhin (*Annales des ponts et chaussées* de 1833), deux systèmes d'épis de défense pour des fleuves tels que le Rhin, à fond sablonneux, à grande vitesse, et sujets à de fortes crues.

Le premier, dit de tapis *enrochés*, est restreint au cas où le thalweg du fleuve ne doit pas être sensiblement dévié de la direction parallèle à la rive, et où il ne s'agit que de le reporter à 25 à 30 mètres plus au large. C'est une sorte d'enrochement discontinu, à grand talus, environ de 4 pour 1 vers le fleuve, dont le noyau est en petites plates-

formes de fascinages nommées *tapis*, qu'on fait couler par des rechargements en gravier.

L'axe de l'épi est incliné de l'amont vers l'aval; la tête de l'ouvrage est arrondie et présente à l'aval une sorte d'angle rentrant qui a été reconnu nécessaire pour rejeter le courant plus au large. Pl. 67. Fig 332.

Le deuxième système d'épis, dit *jetées-barrages*, se prête à des saillies de 70 à 80 mètres sur les rives, et convient surtout lorsqu'il faut éloigner le fleuve à une distance considérable d'une anse trop concave.

Il consiste à élever, à la distance où l'épi doit aboutir vers le large, une sorte d'îlot *insubmersible*, et à le rattacher à la rive, également insubmersible, par une digue ou jetée *submersible* par gradins, et ainsi que l'indiquent les fig. 333 des planches. Pl. 68. Fig. 333.

M. l'ingénieur Defontaine fait remarquer que dans ce système, essayé près de Strasbourg, il n'y a de remous à l'amont à aucune époque des crues, et qu'il y a dépôt d'alluvion et non affouillement. A l'aval, la couche d'eau stagnante en contre-bas des basses eaux prévient les effets de *cascade* des eaux des crues passant sur les zones submersibles de la jetée.

Dans l'ordre d'exécution indiqué par M. Defontaine, on prépare d'abord en tunage l'enracinement complet de la future jetée dans la rive; puis on élève jusqu'aux basses eaux l'îlot ou contre-fort du large, par des enrochements de saucissons et paniers rembourrés de gravier, et en s'étendant de plus en plus vers la rive et dans l'alignement de la jetée. Cette dernière, fondée ainsi sur un radier de 20 mètres de largeur, s'élève ensuite en *tunages ordinaires* jusqu'à son couronnement disposé en gradins. On termine le travail en revêtissant en libages les talus du contre-fort ou îlot du large, et en jetant du gravier à l'amont et le long de la jetée submersible, pour étancher les filtrations que la charge d'eau de l'amont à l'aval tendrait à produire.

On rappelle qu'il faudra chercher dans la *Collection lithographique de l'École des ponts et chaussées*, dans le Mémoire déjà souvent cité de M. l'ingénieur en chef Defontaine, et dans l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, tome II, des détails plus amples sur les travaux de revêtement de rive, sur ceux d'épis de défense et de barrages, et aussi sur ceux de réunion d'îles à la terre ferme.

Beaucoup de localités en France pourraient, avec économie, employer les ouvrages en fascinages en substitution de ceux en bois et en pierres; car il suffit, comme on l'a déjà dit ailleurs, que ces ouvrages durent jusqu'au moment où ils seront en quelque sorte enfouis dans les atterrissements qu'ils auront déterminés.

Il serait donc essentiel de répandre les connaissances pratiques des travaux de fascinages, en cherchant des chefs ouvriers soit en Hollande, soit dans les contrées riveraines du Rhin, où l'expérience et les traditions de centaines de générations ont été stimulées encore par l'importance des intérêts agricoles qui eussent été compromis en cas de non réussite.

*Coupures et dragages.*

Coupures. Dans les rivières à section très-large, sujettes à de grandes crues, à fond mobile comme le Rhin, où les zones centrales du lit sont souvent occupées par des îles, et où le thalweg passe des bras de la rive gauche à ceux de la rive droite, en traversant les intervalles entre les îles, on a cherché à le rectifier par des coupures à travers ces îles.

M. l'ingénieur Defontaine, qui a fait exécuter des coupures dans les îles du Rhin, fait observer que les conditions principales de ces coupures sont :

1° D'être approfondies autant que possible ;

2° D'être raccordées par des courbures prononcées avec l'axe du thalweg en amont;

3° De n'être ouvertes aux eaux du fleuve qu'après qu'on a *barré en aval de l'île le bras dont on veut faire sortir le thalweg*. On avait cru pouvoir se dispenser de ces barrages sur le Rhin, et se borner soit à appeler les eaux dans le nouvel orifice à l'amont de la coupure en prolongeant cet évasement par des épis saillants, soit à les porter sur cet orifice par des éperons saillants sur la rive que corrodait le fleuve. Mais ces moyens avaient échoué, par l'impossibilité où l'on avait été d'approfondir la coupure au *niveau du fond* du thalweg à dévier ;

4° D'être purgées des souches d'arbres et des roseaux dans la zone qui doit être le nouveau lit du thalweg.

Les eaux rejetées dans les coupures effectuent ensuite elles-mêmes et l'approfondissement et l'élargissement du nouveau lit.

Enfin, M. l'ingénieur Defontaine pense que des coupures très-profondes de 5 mètres à 9 mètres seulement de large au plat-fond peuvent suffire dans les îles du Rhin.

Cet ingénieur, pour éviter les effets des eaux sur les parois des coupures, a employé un appareil qui a été utilisé aussi pour le dragage ordinaire des rivières étroites, toutes *les fois qu'il n'y a pas d'inconvénients à abandonner au cours des eaux les matières détachées*.

Pl. 68 Fig. 354 Il consiste en vannes mobiles, verticalement interposées entre deux petits bateaux ; cet équipage, placé à travers des eaux, en détermine le gonflement ; elles sont forcées de passer sous la vanne levée, et déversent en même temps par-dessus. Cet appareil a réduit des $\frac{9}{10}$ les dépenses des déblais qu'il y aurait eu à faire, comme à l'ordinaire, à la pioche, à la pelle et à la bronette.

Dragages. Le dragage a pour objet ou d'extirper des roches, souches d'arbres et débris qui gênent la navigation, ou d'enlever des dépôts d'alluvions.

Sous ce dernier rapport, c'est un moyen, à la vérité dispendieux, mais efficace, et il n'a pas l'inconvénient, comme beaucoup d'ouvrages d'art, ou d'aggraver l'état des choses malgré les intentions contraires des auteurs des projets, ou de substituer d'autres inconvénients, également graves, à ceux auxquels il fallait obvier. Il est probable que les anciens en faisaient grand usage et y appliquaient leurs esclaves ou leurs prisonniers.

L'on ébranle et détache les rochers sous l'eau au moyen de pieux en fer qu'on bat dans leurs joints, et de longues tenailles manœuvrées sur un bateau. On peut encore les faire sauter avec de la poudre au moyen de trous forés avec une barre à mine, ou avec un fleuret, et dans lesquels on introduit des boîtes en fer-blanc. Ces boîtes sont remplies de poudre pure, ou de poudre mélangée par économie avec de la sciure de bois (comme il a été déjà dit). L'orifice des tubes de ces boîtes est hors de l'eau, et c'est par là qu'on enflamme la poudre. La cloche à plongeur a été employée avec succès pour des travaux préparatoires à l'enlèvement des blocs, bois et débris.

Le dragage se borne souvent, comme dans l'équipage à ventelles mentionné ci-dessus, à détruire la liaison des matières à l'aide de râteaux et de charrues. Ces engins sont mus directement par des chevaux ou par des hommes, et quelquefois par des barques cheminant à l'aviron. On abandonne ensuite les matières au courant. Quelquefois l'appareil Pl. 68. Fig. 333. non-seulement sillonne les dépôts d'alluvions, mais les charrie lui-même sur un point déterminé. Enfin, dans beaucoup de cas, la machine détache les matières et les rejette sur la rive ou dans des bateaux qui les déchargent plus loin.

On entrera dans plus de détails sur les machines à draguer, en parlant des ports de mer.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-CINQUIÈME LEÇON.

TRAVERSÉES DES VILLES PAR LES RIVIÈRES. — QUAIS, CALES, EMBARCADÈRES ET PORTS DE DÉCHARGEMENT. — TRAVAUX D'ÉTABLISSEMENT OU D'AMÉLIORATION DE LA NAVIGATION DANS LES FLEUVES ET RIVIÈRES.

Les traversées des villes par les rivières navigables exigent divers travaux d'art, tels que des plans inclinés ou quais riverains, avec rampes et escaliers de communication, ponts, embarcadères, et quelquefois même des gares de stationnement pour mettre les bateaux à l'abri des accidents que détermineraient des crues extraordinaires ou des débâcles de glaces.

Les quais ont le triple objet de laisser aux constructions civiles et voies de communication le maximum de terrain disponible, de préserver leurs fondations de l'action des eaux, et de faciliter les chargements et déchargements des navires et bateaux.

Non-seulement les quais doivent avoir toute la résistance des murs de soutènement ordinaires, mais de plus leur assiette de fondation doit être inattaquable, et être établie avec le même soin que celle des piles et culées des ponts en maçonnerie : aussi leur applique-t-on les mêmes systèmes de fondation.

Suivant les terrains et les localités, l'on emploie pour leur construction des batardeaux

submersibles ou insubmersibles, des caissons foncés ou non foncés, et la cloche à plon-
Pl. 13. Fig. 82. geur. La figure 82 des planches a déjà indiqué le mode d'exécution d'un quai de Rouen, qui présentait beaucoup de difficultés de construction.

Les parements des quais sont tantôt en pierres de taille, tantôt en maçonneries à mortier ordinaire de moellons ou briques, tantôt un mélange de ces diverses espèces de maçonneries. Les parapets, quand il est possible d'en établir, sont presque toujours en pierres de taille d'un grand échantillon.

Quand il n'y a pas de parapets, on couronne les quais soit par un cours de tablettes en pierres de taille de grand échantillon, entrelacées les unes dans les autres, soit par des encadrements en bois ou en fonte dont les cases sont remplies de pavés ou moellons de champ. Ces encadrements, même ceux en fonte, sont, dans beaucoup de localités, moins coûteux que le couronnement en pierres de taille.

Le prix du mètre courant des quais de 6 mètres de hauteur avec parements en pierre de taille peut varier, suivant les prix des matériaux et le système des fondations, de 400 fr. à 3,000 fr.

On a renoncé presque généralement aux maçonneries en pierres sèches et aux ouvrages en charpentes pour les quais, en raison de leurs promptes détériorations et fréquents
Pl. 69. Fig. 336. renouvellements. Les figures 336 des planches indiquent, entre autres, un quai en charpente exécuté en 1820 dans la Flandre.

Toutefois, pour garantir les parements des quais *lorsqu'ils sont exposés à l'accostage des bateaux*, il serait utile d'y appliquer des *masques* amovibles en bois, à l'imitation de
Pl. 69. Fig 337. ce qui s'est pratiqué dans divers ports de mer et en Angleterre, notamment à Deptford et aux docks de la Compagnie des Indes orientales, ainsi qu'il sera *dit dans la dernière partie du présent ouvrage*. Dans la même hypothèse, les parements des quais doivent être munis à diverses hauteurs et de 10 en 10 mètres au moins, de boucles à charnières tenues par des arganeaux, et pouvant servir à l'amarrage des bateaux. De plus, sur les terre-pleins, en arrière du couronnement des quais, des bornes en fonte ou en bois équidistantes concourent au même but, et servent aussi aux amarrages des appareils de déchargement des bateaux.

Ces terre-pleins peuvent d'ailleurs rester chargés pendant plusieurs semaines d'amas de matières lourdes ; ils sont même destinés à recevoir des édifices permanents. Il importe d'y avoir égard dans le choix du système de fondations, et dans les calculs des formes et dimensions des quais de soutènement.

A Paris, on a évidé en arcades, et sur une assez grande profondeur, le dessous de beaucoup de terre-pleins des quais. Le sol d'assiette de ces arcades n'est couvert que par les crues de la Seine.

Pour élargir d'autres terre-pleins, on a jeté le long des quais de soutènement des encorbellements qui portent le trottoir de la rue et son parapet.

**Revêtements métalliques des quais.**

Le bas prix de la fonte de fer en Angleterre y a déterminé son application d'abord à des coffrages de batardeaux, puis à des pilotis à revêtements de quais permanents. Voici,

à ce sujet, l'extrait d'un mémoire publié en Angleterre par l'ingénieur Michael Borthwick, en 1836. Le premier exemple remarquable a été la construction de la tête de la jetée nord du havre de Bridlington. La fondation était soutenue par un système de panneaux en fonte de $2^m,40$ à $2^m,70$ de hauteur, chacun de $0^m,52$ à $0^m,60$ de largeur et $0^m,012$ d'épaisseur. Les figures 338 des planches en donnent la coupe horizontale. Pl. 69. Fig. 338.

Ultérieurement, on a fait usage pour la construction, sur la Tamise, d'un barrage très-considérable, et pour la fondation des musoirs d'entrée de divers docks au port de Liverpool, d'une nouvelle combinaison, pour laquelle M. Ewart avait pris patente. La fig. 339 des planches en donne la coupe horizontale ; la longueur des panneaux était de $3^m,50$. On craignait des difficultés dans le battage de ces panneaux. On eut soin de les engager entre deux fortes ventrières horizontales en bois, et de faire tomber le mouton à bras, du poids de 150 à 200 kilogrammes, bien verticalement dans la direction du panneau, afin que le choc oblique ne tendît point à déverser ce dernier ou à le briser. On battait en même temps les deux pièces successives de devant et d'arrière. Dans une des circonstances où l'on avait fait usage de ces espèces de palplanches en fonte, on s'était borné d'abord à les mettre toutes en fiche sur une partie de leur hauteur, puis on faisait repasser le mouton à plusieurs reprises et successivement sur toutes les pièces, pour leur procurer leur fiche définitive. Pl. 69. Fig. 339.

En 1824, l'ingénieur Walker employa la combinaison de palplanches en fonte représentée fig. 340 des planches, dans la reconstruction de l'extrémité d'un quai du dock de Sainte-Catherine de Londres. La résistance du terrain rendit impossible d'enfoncer les panneaux à profondeur et sur une ligne régulière. Pl. 69. Fig. 340.

Un ouvrage du même genre, mais d'une bien plus grande dimension, de 600 mètres de longueur, a été terminé, en 1832, par l'ingénieur Cubitt, au débouché à la mer du cours d'eau navigable de Noorwich. On voit, par la figure 341 des planches, que cet ouvrage se compose de palplanches à nervures juxtaposées de 9 mètres de longueur, et dont l'épaisseur métallique est de $0^m038$ ; chacune d'elles pèse environ 1,500 kilogrammes ; la nervure se réduit à $0^m15$ au sommet, et ce dernier, élargi, présente une large tête au battage. Vers le pied, cette nervure s'amincit par une suite de petites retraites. La forme courbe primitive donnée au démaigrissement repoussait les palplanches vers le large dans le battage. Pl. 69. Fig. 341.

Le battage se faisait avec des moutons du même poids que les palplanches, mais tombant d'une faible chute. Ce revêtement en fonte est retenu contre la poussée des terres par des tirants en fer espacés à $0^m,80$ dans la longueur, et placés sur deux étages. Comme dans ce système il n'y a pas de recouvrements de joints, il est nécessaire de conduire le battage avec la plus grande précision. L'ingénieur Cubitt avait imaginé, à cet effet, des guides en fer forgé qui embrassaient la palplanche déjà enfoncée, et contenaient le bord attenant de la palplanche qu'on mettait en fiche.

En 1833, l'ingénieur Sibley a construit un revêtement en fonte sur un principe différent du précédent, et exprimé par la figure 342 des planches. On voit qu'il consiste en Pl. 69. Fig. 342.

panneaux plats de fonte, qui sont engagés dans des coulisses saillantes quo portent des pieux creux en fonte, à section elliptique. Les pieux sont espacés de 3 mètres, ont 6 mètres de longueur, pèsent chacun 1,250 kilogrammes; ils sont retenus vers l'intérieur par des tirants en fer.

Aux abords du nouveau pont de Londres, un revêtement dans le même système a été fait; mais les pieux y ont 13 mètres de longueur en deux morceaux inégaux réunis par des pattes : la section du tuyau creux est cylindrique, de $0^m,30$ de diamètre; l'épaisseur du métal est de $0^m,038$, et chaque pieu creux est retenu à l'intérieur par deux tirants étagés en fer forgé, de $0^m,05$ en carré, et de 21 mètres à 24 mètres en longueur. Cette grande longueur a été motivée par la masse considérable et la grande profondeur du remplissage en arrière. Des enrochements extérieurs au pied du revêtement en fonte auraient peut-être permis de réduire la longueur des tirants.

Un ouvrage, presque aussi important que les précédents, de 216 mètres de longueur, mais plus récent, est le revêtement d'un quai construit par les ingénieurs Walker et Burges sur la Tamise, vis-à-vis le dock des Indes orientales de Blackwall. Les figures
Pl. 69. Fig. 343. 343 des planches indiquent la combinaison adoptée. Elle consiste en pieux directeurs en fonte, formés de deux morceaux dans leur longueur, et réunis à pattes et avec vis et écrous; entre ces pieux se trouvent : dans la zone inférieure, des palplanches en fonte se recouvrant les unes les autres dans leurs joints; dans la zone supérieure, des *virures* horizontales de panneaux, dont les joints sont remplis de mastic de limaille de fer. Le recouvrement des palplanches obvie aux légères irrégularités du battage, et rend plus difficile l'introduction de l'eau. Malgré la nature graveleuse du sol, le battage a pu être fait régulièrement, et il n'a fallu de *closoirs* spéciaux de palplanches que pour un petit nombre d'intervalles de pieux. Le remplissage en arrière de cette muraille métallique était un mélange de chaux et de gravier dans le dosage de 1 sur 10.

Les pieux sont d'ailleurs retenus ici, comme dans les combinaisons précédemment relatées, par des tirants en fer qui vont se rattacher dans les ancrages antérieurs.

Pl. 69. Fig. 344. On avait d'abord voulu exécuter les pieux directeurs comme dans les figures 344 des planches; mais on y a renoncé, par la crainte d'avoir un moulage défectueux et beaucoup de pièces brisées dans le battage. La forme préférée, et beaucoup de précautions dans le battage, ont réduit les déchets à 16 pieux sur 600. Les palplanches, qui n'étaient projetées qu'à $0^m,025$ d'épaisseur, ont été portées définitivement à $0^m,03$, en sorte que le poids de chacune d'elles était d'environ 800 kilogrammes.

Le battage a été effectué avec des moutons du poids de 600 à 700 kil., dont la chute a dû être limitée à $1^m,00$, et même moins, quand la résistance du terrain menaçait de faire déverser les palplanches. Le mouton ne tombait pas directement sur la tête de la palplanche, mais sur une planche d'orme intercalaire de $0^m,02$ d'épaisseur.

Si le sol, au lieu d'être graveleux, avait été argileux, il aurait paru avantageux de faciliter le battage, particulièrement pour les pieux directeurs, en forant à l'avance des trous dans l'emplacement de leur fiche.

Le poids total en fonte, employé dans le travail en question, a été de 900 tonneaux.

D'après la notice ci-dessus, on voit que l'emploi de la fonte pour revêtements n'est pas une innovation récente en Angleterre. Toutefois, les ingénieurs anglais craignent eux-mêmes, et avec raison, la détérioration du métal par l'eau, et particulièrement par l'eau de mer. On a déjà indiqué dans la huitième leçon, tome I, page 141, les effets de cette dernière. Mais, de plus, le peu de résistance de la fonte à des chocs exposera les nouveaux revêtements à de rapides détériorations.

En France, où la fonte est beaucoup plus chère qu'en Angleterre, où il est plus difficile de l'obtenir douce et purgée de défauts, on préférera toujours les maçonneries ou le bois, excepté dans les localités où la dureté de la pierre rendrait sa taille et sa pose très-dispendieuses. Sous ce rapport, la fonte pourrait, dans beaucoup de circonstances, pour des ouvrages *hors de l'eau*, qui ne seraient pas exposés à des chocs, remplacer avec avantage les pierres, et *notamment dans les constructions civiles pour les encadrements des ouvertures de toute espèce*.

**Communications des terre-pleins avec les cours d'eau.**

Les communications des terre-pleins avec les cours d'eau s'établissent, soit par des escaliers de rive, soit par des rampes de $\frac{1}{12}$ d'inclinaison à l'horizon, soit par des ponts embarcadères qui se prolongent jusqu'aux points où les bâtiments peuvent toujours être à flot; là, ces embarcadères insubmersibles sont terminés par des escaliers aboutissant aux bateaux ou à des radeaux permanents.

Les escaliers et cales ne sauraient être placés perpendiculairement ni obliquement sur la direction des quais, sans couper les terre-pleins ou sans produire des saillies gênantes pour les mouvements des bateaux et pour le régime des rivières. On adopte de préférence une direction *parallèle* à la longueur du quai; mais toute la largeur de ces escaliers et rampes est alors en arrière du parement des quais en amont ou en aval, et cela par les mêmes motifs qu'on vient de donner. Cette largeur est au minimum de $1^m,50$, 3 mètres ou 6 mètres, suivant qu'elle doit servir au passage de brouettes et de civières, d'une seule voiture de front, ou de deux.

Les ponts embarcadères sont au contraire perpendiculaires au cours des eaux; mais pour qu'ils ne déterminent pas des affouillements sur certains points et des atterrissements sur d'autres, on donne une grande portée à leurs arches ou travées. Dans beaucoup de cas, le système d'embarcadères analogues aux ponts suspendus, et déjà employé en Angleterre, serait préférable.

Les figures 345 des planches indiquent l'embarcadère suspendu de la Trinité. Pl. 69. Fig. 345.

Le mode de construction de ces ponts est d'ailleurs le même que celui des ponts ordinaires; la largeur de leur voie est au minimum de $1^m,50$, 3 mètres ou 6 mètres dans les mêmes circonstances qui ont été indiquées pour les cales et escaliers.

Les embarcadères sont quelquefois des plans inclinés, mobiles autour de charnières fixées à leur partie supérieure. Leur partie inférieure s'appuie sur un *ras* ou ponton à flot sur lequel elle peut glisser suivant les variations qu'éprouve le niveau des eaux.

Pl. 70, 71, 72 et 73. Fig. 346. Les quais, dans les villes de commerce, sont munis de grues fixes ou amovibles, dont les figures 346 des planches relatent quelques exemples.

Les plans inclinés, dressés à la pente minimum de $\frac{1}{20}$ et plus fréquemment à celle de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{10}$, sont quelquefois préférés aux quais, par des motifs d'économie; mais leur emploi est limité aux localités où :

1° La largeur disponible sur les rives est très-grande;

2° Les objets à embarquer sur les bateaux ou à en débarquer peuvent ou doivent être immédiatement chargés en voitures, ou halés à terre par des treuils et autres appareils.

Pl. 73. Fig. 347. Les figures 347 des planches indiquent le mode fréquemment suivi pour corriger les effets d'une pente trop roide dans le rampant des plans inclinés.

A Paris et dans quelques grandes villes où les terre-pleins des quais formant rues sont élevés de beaucoup au-dessus du niveau moyen des eaux, l'on a fait usage d'un système mixte formé de deux quais ou de deux plans inclinés avec terre-pleins intermédiaires en deux étages.

Le couronnement du quai ou plan incliné le plus près du thalweg est au-dessus du niveau ordinaire des eaux, *mais submersible aux crues*; il est garni des grues et autres appareils à mouvoir les fardeaux. Il est suivi en arrière d'un large terre-plein en pente de 20 mètres de largeur minimum, dénommé *port*, lequel aboutit au second rang de quais ou plans inclinés, et communique par des escaliers ou cales avec le terre-plein supérieur du deuxième étage en arrière de ces quais.

Cette combinaison a le grand avantage de laisser aux crues un débouché suffisant, et de procurer un large empatement en avant des fondations des quais supérieurs du second rang; ces derniers ont, en effet, une importance bien plus grande que les quais submersibles du premier rang.

Gares de stationnement. Les gares de stationnement sont placées quelquefois sur l'une des rives d'un cours d'eau, et de préférence dans un des bras, si les eaux se divisent. Ces gares, où les eaux suivent *ordinairement* toutes les dénivellations du fleuve, sont protégées, à l'amont et quelquefois latéralement,

1° Soit par de fortes claires-voies en charpente, avec passes facultatives;

2° Soit par des radeaux flottants amarrés à leurs extrémités.

Les parois latérales à la gare de Grenelle sont formées d'un côté par la rive gauche de la Seine, de l'autre par une jetée insubmersible longitudinale revêtue de perrés sur les deux talus. Les dimensions en longueur et en largeur de ces gares dépendent d'ailleurs des localités, des formes, des dimensions et du nombre des bateaux à remiser.

Les gares peuvent, comme les bassins à flot des ports de mer, dont il sera question ultérieurement, être isolées de la rivière par une écluse avec simple ou double jeu de portes : les unes maintenant le niveau des eaux intérieures, les autres résistant à l'excédant de charge des eaux des crues extérieures. Les mouvements des bateaux exigent

Pl. 73. Fig. 348.

alors qu'on fasse d'abord entrer l'eau extérieure ou sortir une tranche de l'eau intérieure pour rétablir l'équilibre. Enfin, pour éviter cette dernière sujétion, on peut recourir à une écluse à sas, comme celles des rivières canalisées, qu'on mentionnera plus bas.

Lorsque les parois des gares sont simplement à claires-voies, il faut donner à la charpente de ces dernières une grande résistance contre le choc des glaçons, des bateaux et des débris de toute espèce entraînés dans les débâcles et crues d'eau. On les compose de fermes équidistantes, analogues aux piles des ponts en charpente, tenues de la même manière dans le sol, armées, comme elles, de brise-glaces, et reliées dans le sens de la longueur, sur le devant, par des cours horizontaux de ventrières ou groupes de moises à plusieurs étages, et sur l'arrière par des groupes analogues, mais moins nombreux. On intercale souvent des croix de Saint-André en bois entre les divers cours de la même paroi, pour les consolider et mieux fermer le passage aux glaçons. Pl. 73. Fig. 349

*Considérations générales sur les travaux d'établissement ou d'amélioration de la navigation dans les rivières.*

Le problème de l'établissement ou de l'amélioration de la navigation dans les fleuves et rivières, est l'un des plus compliqués à la fois d'économie *politique et commerciale* et d'exécution technique ; toutefois, dans la marche progressive des idées, il a précédé celui de la navigation artificielle.

Ce problème ne saurait admettre, en effet, de solution générale. Car si la navigation ne doit être que descendante, et qu'il y ait une profondeur d'eau suffisante, la vitesse de l'eau étant *elle-même la force motrice*, il n'y a d'autre limite que celle des périls auxquels une grande vitesse exposerait. Si la profondeur d'eau, dans le même cas, est insuffisante pour des bateaux d'une certaine catégorie, elle ne peut être augmentée qu'en ralentissant la vitesse. Il y aura donc à examiner si l'emploi de ces bateaux, avec une vitesse moindre et partant *avec un trajet total plus long*, sera plus avantageux que celui de bateaux de moindre tonnage et allant plus vite. Dans la comparaison, il y aura d'ailleurs à tenir compte des droits de navigation, représentatifs de l'intérêt des capitaux et des dépenses d'entretien résultant des changements projetés.

Si la navigation n'est qu'ascendante, les travaux qui auraient pour objet le ralentissement de la vitesse produiraient, en général, non-seulement une grande économie de force motrice, mais encore un plus grand tonnage, et il n'y aurait plus qu'à mettre cet avantage en regard des sacrifices par lesquels il faudrait l'acheter.

Mais si la navigation est à la fois ascendante et descendante, *et dans des proportions variables*, les solutions peuvent elles-mêmes être très-diverses.

Les moyens d'art, pour réaliser ces solutions, offrent un champ bien plus étendu encore de combinaisons.

La première question qui se présente, pour tout le cours d'une rivière ou pour une partie de ce cours, est celle-ci : La navigation sera-t-elle établie ou maintenue dans le

lit actuel? on bien en onvrira-t-on nn nouveau, soit avec eaux conrantes, soit avec eaux stagnantes? sur laquelle des deux rives de l'ancien lit sera placé le nouveau lit?

D'une part, sont les habitudes prises, les réclamations des riverains actuels qui, exposés aux dommages des rivières, n'en venlent pas perdre les avantages qui en sont la compensation; d'autre part, les intérêts d'usines existantes, que des modifications dans le cours des eaux restreindraient on supprimeraient; puis apparaissent les besoins de la navigation locale ascendante et descendante, quelquefois contraires entre enx et aux précédents; eufin ceux de l'État, soit comme représentant les intérêts généraux de la défense militaire du pays, de la navigation, du commerce et des consommateurs, soit comme administrateur économe des deniers des contribuables.

Des impossibilités matérielles ou des chances de dépenses énormes viennent généralement résoudre ce tissu compliqué de questions. L'on va exposer sommairement les divers travaux susceptibles d'établir ou d'améliorer la navigation.

**Opérations préalables à un projet d'amélioration de la navigation.**

Un préalable indispensable, c'est de lever un plan général dn cours d'eau existant et de ses affluents; de dresser des profils longitudinaux et transversaux et nivellement du lit, des rives et de leurs abords, indiquant le niveau des eaux les plus basses, des eaux ordinaires et des crues par rapport aux rives; de recueillir des renseignements nombreux, et de plusieurs années, sur les saisons et dnrées des états principaux des eaux; sur les jaugeages du volnme des eaux dans ces mêmes états. Enfin, et c'est là le point capital, il faut étudier le régime de la rivière, c'est-à-dire la nature des troubles qu'elle charrie, les affouillements et atterrissements qui s'y manifestent, et la solidité du fond primitif relativement aux diverses espèces d'ouvrages d'art qu'on aurait à exécuter.

Les formes et dimensions des bateaux en usage, soit dans la localité, soit dans les canaux et rivières avec lesquels communique celle dont on s'occupe, et les habitudes de la navigation doivent également être annotées.

Les nivellements pour les eaux sont effectués à l'aide de bons niveaux à bulle d'air, avec la précision de 4 à 5 millimètres pour une station de 1,000 mètres, et doivent être vérifiés plusieurs fois.

On sait, d'ailleurs, que la théorie des eaux courantes à découvert se résume dans les deux formules ci-dessous de M. de Prony, qui ont été vérifiées par M. Eytelwein sur des cours d'eau importants, et auxquelles il faut joindre, dans l'application, la loi générale de continuité :

$$V = l.hu, \quad u = -0,07 + \sqrt{0,005 + 3233.\frac{lh}{l+2h}i}.$$

(en ne tenant pas compte des talus des rives); dans lesquelles V est le volume des eaux en mètres cubes par seconde, $l$ la largeur du lit, $h$ la profondeur moyenne, $u$ la vitesse moyenne par seconde, $i$ la pente par mètre, le tout exprimé en mètres.

Dans les rivières où la largeur est très-grande relativement à la profondeur, on peut, sans erreur grave, faire

$$u = -0,07 + \sqrt{0,005 + 3233\, i \frac{l}{l+2}},$$

et même quand cette largeur est au delà de 40 mètres,

$$u = -0,07 + \sqrt{0,005 + 3233\, i}.$$

On trouvera, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835 et 1836, des mémoires de MM. de Prony, Coriolis et Vauthier sur les applications de ces formules aux diverses questions qui peuvent se présenter.

Un premier empêchement à la navigation, c'est le défaut de largeur d'une rivière, soit dans ses parties rectilignes, soit dans ses parties sinueuses. Si l'on veut augmenter cette largeur par des déblais, on diminuera probablement et la profondeur et la vitesse ; et si la rivière charrie des troubles, il est probable aussi que des atterrissements (à moins de draguages continuels) reformeront les rives primitives. Ouvrages destinés à corriger les défauts de largeur et les sinuosités.

Les sinuosités, outre qu'elles diminuent par le fait la largeur praticable pour les bateaux, ont encore l'inconvénient, quel que soit le sens de la navigation, d'augmenter la longueur du trajet. Mais si l'on ouvre, entre leurs points extrêmes, un nouveau lit, la pente par mètre à la surface des eaux sera augmentée de beaucoup, et il y aura diminution de profondeur ; de plus, si les *parois sont susceptibles d'être corrodées*, il pourra se faire, surtout dans les crues, que la rivière rétablisse à la longue des sinuosités d'un développement égal au précédent, ainsi que cela est arrivé dans une partie du cours de l'Oise, au-dessus de Compiègne.

Un canal à eaux stagnantes avec les écluses à sas, dont il sera question plus bas, paraît le seul moyen à l'abri des inconvénients précédents ; mais le temps nécessaire pour franchir les écluses, les tarifs de péage représentatifs de la dépense et de l'entretien du canal, peuvent compenser et au delà la plus grande longueur du trajet primitif dans le lit sinueux de la rivière.

Dans les rivières où les courants se modifient par suite de la mobilité des bancs d'atterrissements, on est obligé de baliser. Balisage.

Quand les changements n'ont lieu que de loin en loin, on balise par *amers* comme sur les côtes de la mer ; c'est-à-dire qu'on établit, sur les rives du cours d'eau, des repères amovibles dont les alignements deux à deux indiquent aux bateaux la route à suivre.

Mais quand les déplacements de bancs sont fréquents, de quinze en vingt jours comme sur la Loire, on indique les passes par de longues perches fichées sur les bords du thalweg variable, et portant un signal.

Si la vitesse des eaux est l'obstacle principal de la navigation, on la diminuerait : Ouvrages destinés à corriger une trop grande vitesse.

1° Par l'un des moyens suivants :

En allongeant le cours de la rivière par des sinuosités,

En l'élargissant,

En la creusant,

En faisant concourir deux à deux ces divers moyens,

Enfin en les employant tous trois à la fois.

L'allongement par des circuits, dans beaucoup de cas, augmenterait le trajet, déterminerait des attèrrissements d'un côté, et subséquemment des affouillements de l'autre, et aurait souvent pour résultat de rendre la navigation impraticable.

Le ralentissement de la vitesse par l'élargissement ou l'approfondissement du lit déterminerait, dans les mêmes cas, des dépôts irréguliers, qui, à la longue, rétabliraient l'état primitif d'équilibre entre la vitesse et la résistance des parois du lit, mais ne laisseraient pas peut-être le thalweg dans la direction première.

2° En établissant de distance en distance des barrages transversaux qui, relevant le plan d'eau, augmenteraient la profondeur et par suite le débouché, et réduiraient la pente superficielle des eaux et leur vitesse dans les intervalles des barrages. Mais, outre les chances d'atterrissement sur le fond et les rives, qui nécessiteraient des draguages permanents si la rivière charriait beaucoup de troubles; outre les chances d'affouillements en aval des barrages si le lit de la rivière n'était pas résistant ou protégé par des ouvrages d'art; il y a de plus, dans ce moyen, s'il est fixe et permanent, moins prompte évacuation des crues, chances de submersion pour les terrains en amont; et si le barrage est amovible lors des crues, il y a une manœuvre pénible à faire à chaque crue. La dépense annuelle jointe à l'intérêt des dépenses premières des barrages, aux draguages annuels, se résument d'ailleurs en droits de péage, lesquels doivent être mis en regard des plus-values que paye la navigation ascendante par la trop grande vitesse de la rivière. Comme le passage par les pertuis ou écluses des barrages allonge le temps du trajet et augmente ainsi indirectement la dépense de transport, il faudra également faire entrer cet élément dans la comparaison.

D'ailleurs, l'emploi des barrages est souvent fort difficile dans les parties inférieures du cours de la plupart des rivières sujettes à des crues violentes, lorsque leurs rives sont basses et formées d'alluvions. L'encaissement des barrages dans les rives doit être fait alors sur une grande profondeur, pour qu'ils ne soient pas tournés ni détachés lors des crues. C'est l'un des motifs qui y ont fait renoncer pour l'amélioration de la navigation sur la Garonne, au-dessus de Toulouse.

**Ouvrages destinés à remédier au défaut de profondeur.** Lorsque le défaut de profondeur est l'obstacle principal à la navigation, et que la rivière présente un grand excédant de largeur, on a proposé son rétrécissement tantôt par des épis transversaux, saillants sur l'une ou l'autre rive ou sur toutes les deux; tantôt par des digues longitudinales sur un ou deux rangs.

Dans les rivières divisées entre plusieurs bras, ces digues, par économie, sont employées ordinairement à barrer l'un de ces bras à l'aval, ou à réunir plusieurs îles entre

elles. Les figures 350 des planches représentent divers rétrécissements effectués ou projetés dans la Loire, à Orléans, à Chouzé, et près de Nantes. Pl. 73 et 74. Fig. 350.

Si ces épis ou digues étaient insubmersibles, il arriverait, dans les rivières sujettes à de fortes crues, ou que ces ouvrages seraient compromis, ou que l'écoulement des eaux ralenti élèverait le plan d'eau et accroîtrait l'étendue et la durée des inondations en amont. De plus, si ces crues charriaient des troubles, il y aurait des atterrissements irréguliers à l'amont, qui pourraient faire perdre le bénéfice de la profondeur et modifier le thalweg. Enfin, si avec toutes ces circonstances *le lit de la rivière de plus était attaquable*, il éprouverait des affouillements entre les digues ou au droit des épis, et des atterrissements irréguliers à l'aval, qui feraient perdre encore la direction et la profondeur d'eau primitives dans ces dernières zones.

Les levées insubmersibles de la Loire, celles du Rhin, par suite de la distance où elles ont été établies de la rive opposée, ne pouvaient avoir pour objet l'augmentation de profondeur dans les basses eaux, ni pour résultats les effets qu'on vient d'indiquer lors des crues. Leur véritable but a été le *desséchement* et *l'exploitation* des terrains précédemment atteints par les crues extraordinaires.

Par suite des considérations précédentes, l'on s'est décidé à n'établir des épis ou des digues longitudinales de rétrécissement qu'à 50 à 60 c. au-dessus du niveau des basses eaux ou au niveau des eaux moyennes de navigation et à les rendre submersibles aux crues. M. l'ingénieur Derrien a été d'avis que ce n'était pas sur le lit à l'étiage, mais bien sur le lit plus large des eaux moyennes qu'il fallait opérer pour éviter des perturbations continuelles dans le régime.

On se prive, à la vérité, de cette manière d'une grande partie de l'approfondissement par *corrosion* du lit rétréci, toutes les fois que le fond est susceptible d'être corrodé. L'on réduit aussi l'augmentation de profondeur *possible*, à celle qui doit compenser la moindre largeur dans les basses eaux.

Les digues longitudinales submersibles paraissent d'ailleurs préférables en général aux épis transversaux. Ces derniers sont de véritables barrages avec ralentissement de vitesse et atterrissements en amont, si la rivière charrie des troubles ; et de plus avec augmentation de vitesse et affouillement à l'aval si le fond est susceptible d'être corrodé. D'ailleurs, ces épis donnent lieu, par la communication du mouvement latéral de l'eau, à des tournoiements et remous dans les intervalles qui séparent les épis de la même rive, et par suite à des corrosions sur les deux rives.

Aussi, sur beaucoup de rivières, et notamment sur le Clyde en Écosse, après avoir établi d'abord des épis transversaux insubmersibles en pierres, l'on a été forcé de réunir leurs têtes vers le thalweg par des digues longitudinales. Au reste, cette opération sur un fond de sable a eu un succès complet, puisqu'elle a procuré plus de $2^m,13$ de profondeur pour des navires de 150 tonneaux sur des points où de simples bateaux trouvaient à peine une profondeur d'eau suffisante.

Enfin, les épis, pour être efficaces, devraient être très-saillants et multipliés, au point

que leur développement considérable serait aussi dispendieux que celui des digues longitudinales.

Il reste encore bien de l'incertitude sur la quantité du rétrécissement. M. l'ingénieur Beaudemoulin, dans une note sur les digues submersibles insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833, est arrivé, pour des rivières larges et peu profondes, aux résultats suivants, fort simples et qui peuvent suffire dans la pratique : 1° les vitesses varient dans le rapport inverse de celui des racines cubiques des largeurs ; 2° les cubes des hauteurs sont en raison inverse des carrés des largeurs du lit.

On a projeté des rétrécissements à 90 mètres sur la grande Saône, vis-à-vis Trévoux, où il y avait 240 mètres de largeur ; d'autres sont en exécution sur la Meuse, entre Sedan et la Belgique. Mais la portée de ce moyen, même avec le concours de draguages sur les hauts-fonds, même dans les rivières dont le fond est susceptible de corrosion, paraît très-limitée. Ainsi, dans les travaux projetés pour l'amélioration de la navigation sur la Meuse, entre le canal des Ardennes et la frontière vers la Belgique, on n'espère, par le concours ci-dessus, obtenir qu'un tirant d'eau minimum de 1$^m$,00, au lieu de la profondeur actuelle de 0$^m$,60.

Aux États-Unis d'Amérique, on n'a pris pour base des rétrécissements, dans des rivières où le fond était de rocher, que le produit de la largeur réduite par la profondeur d'eau *que l'on voulait obtenir*, devait être équivalent à celui de l'ancienne largeur par l'ancienne profondeur.

M. Beaudemoulin fait observer avec raison que dans le tracé des digues il faut conserver autant que possible le thalweg ancien, et le rejeter, en cas de déplacement, sur les parties du lit susceptibles de corrosions.

L'augmentation de profondeur d'eau peut être obtenue également par les barrages transversaux déjà mentionnés ci-dessus comme correctifs des trop grandes vitesses ; mais l'on a indiqué aussi les inconvénients que ce moyen pouvait présenter dans beaucoup de cas.

Ouvrages destinés à remédier à la fois au défaut de profondeur et à l'excédant de vitesse.

Si, comme dans la plupart des rivières, le défaut de profondeur et l'excédant de vitesse se réunissaient dans un certain nombre de hauts-fonds ou *trémates*, ou barres séparées par des biefs profonds et nombreux ou *racles*, dans lesquels l'eau coule très-lentement, le moyen qui s'offre d'abord est de draguer des passes à travers ces hauts-fonds ; mais il est probable que la rivière tendra constamment à les reformer ; et de plus l'ouverture de ces passes fera baisser le niveau de l'eau dans les *racles*, et rendra peut-être la profondeur insuffisante là où elle était surabondante. Aussi, en général, on n'a employé ou projeté ces draguages que sur 15 à 20 mètres de largeur, et, comme auxiliaires *permanents* des rétrécissements par digues submersibles, dans les rivières de Garonne, Saône, Loire, Meuse et Midouze.

Ici, encore, des barrages transversaux submersibles ont été proposés pour opérer des modifications considérables dans la profondeur. Mais les digues submersibles longitudinales, par le grand débouché en *lit majeur* qu'elles offrent aux eaux ascendantes,

semblent préférables aux barrages, surtout dans les zones inférieures des rivières où les dénivellations de la marée se font sentir. Là, en effet, il est essentiel de ne pas diminuer le volume des eaux ascendantes du flot, parce qu'au jusant elles forment avec les eaux de la rivière des chasses efficaces sur des alluvions molles et fraîches. Les digues submersibles concilient cette condition avec l'avantage de resserrer, à basse mer, le courant des chasses dans le chenal navigable.

La première idée de ces digues paraît avoir été émise par M. de Prony et par feu M. Sganzin, dans des rapports datés de 1806, restés encore manuscrits et relatifs à la restauration du port de Venise. L'importance du sujet motive ici l'insertion d'un extrait de ce rapport.

Venise est bâtie, comme tout le monde le sait, au milieu d'une plage vaseuse découverte à toutes les basses mers et couverte à toutes les hautes mers. La dénivellation totale et régulière de la marée est d'environ 1m60 ; l'action du vent, quand elle concourt avec le flot, détermine une élévation maximum de 60 centimètres au-dessus d'un plan fictif, dit le *commune*, lequel est de 1 mètre environ au-dessus des plus basses mers de syzygies. Pl. 71. Fig. 351.

Les eaux de flot ou de la marée montante et celles de jusant ou de la marée descendante, qui se meuvent dans la baie de Venise, suivent une multitude de canaux, parmi lesquels il y en a cinq principaux qui forment le lit et en quelque sorte la continuation à la mer de cinq petites rivières, débouchant dans la baie de Venise. Ces canaux, dans la partie la plus profonde de la baie, présentent la circonstance remarquable que toutes leurs bouches à la mer sont tournées vers le sud-onest, et sont barrées par des bancs de sable vaseux qui devient le thalweg des canaux dans ce même sens. On a attribué cet effet à l'action combinée du courant littoral qui chemine dans l'Adriatique de l'est à l'ouest, et au vent régnant du sud-est, dit *sirocco*, sur les sables de la côte et sur les courants de flot et de jusant qui passent par les principaux canaux des lagunes.

Les canaux de communication qui auraient été les plus directs entre Venise et la pleine mer, n'offraient plus, en 1806, que 3 à 4 mètres de profondeur d'eau, et les navires de guerre qui pratiquaient le port de Venise étaient forcés de suivre le canal sinueux dit de *Malamocco*. Ce canal, à partir de Venise, se dirige presque parallèlement à la côté, et, après sa jonction avec deux autres, débouche dans la pleine mer par un passage très-sinueux dirigé est et ouest et qu'un banc de sable rejette de plus en plus vers la côte. Il s'agissait d'ouvrir une passe à travers ce banc, de curer le canal en question, et de prendre des dispositions telles, que les atterrissements fussent plus lents à se former.

Une commission spéciale dont MM. de Prony et Sganzin étaient membres proposa un curage extraordinaire, et deux jetées extérieures pour aider au creusement de la passe à travers le banc : mais elle indiqua de plus, et comme ouvrage de réserve, l'établissement de digues *insubmersibles* à travers la plage des marais à l'ouest de Venise. Le but de ces digues était, tout en ne modifiant pas sensiblement le régime des

courants de flot, de faire déboucher cependant au jusant un plus grand volume d'eau par le canal de *Malamocco*, qui devait rester affecté aux mouvements des navires. Après ce préliminaire, on présentera textuellement des extraits du rapport de la commission.

**Moyen d'augmenter le volume des eaux dans la bouche de Malamocco par des digues en écharpe sur les *paludi*. Évaluation des ouvrages.**

« L'eau emmenée par le flot dans les lagunes y pénètre, comme nous l'avons dit « précédemment, par cinq passes ou orifices; chacune de ces passes fournit pendant « un temps donné un certain volume d'eau qui se répand dans un espace déterminé de « l'intérieur des lagunes ; et ces espaces qui sont ainsi respectivement remplis par l'eau « affluente par chaque orifice, doivent demeurer invariables en grandeur et en figure, « tant que le mouvement extérieur du flot, la grandeur des orifices et la forme des « lagunes ou des récipients ne changent pas. Il doit donc y avoir dans les lagunes des « lignes de *séparation* entre les divers espaces sur lesquels se répand l'eau affluente « des divers orifices; ce sont des *axes d'équilibre* entre les diverses masses d'eau intro- « duites, et si des flotteurs étaient placés sur ces axes ou à leur proximité, ils n'au- « raient aucun mouvement de translation déterminé.

« Des phénomènes pareils ont lieu lors du reflux ou jusant; la masse totale de l'eau, « qui pendant l'*étale* s'est mise sensiblement de niveau, se distribue, lorsque la mer « baisse, aux différentes passes, en sorte que chacune de ces passes devient l'orifice de « sortie de l'eau contenue dans une certaine portion de la surface des lagunes. Si l'on « supposait une infinité de flotteurs distribués sur toute cette surface pendant l'étale, « on les verrait, dès que le jusant commencerait, se séparer en cinq divisions dont « chacune se porterait vers une des passes ; les flotteurs qui se trouveraient sur les lignes « de séparation des divisions n'auraient pas de mouvement de translation déterminé.

« Les lignes de division dont nous venons de parler, constituent, tant pour le flot « que pour le jusant, ce qu'on appelle les *parti d'acqua*; on peut voir, sur le plan, ces « lignes désignées par les lettres XX, YY et établies d'après les meilleurs renseigne- « ments que nous avons pu nous procurer. Mais nous avons observé, dans des lagunes « mêmes, que les *parti d'acqua* étaient non pas des lignes, mais des surfaces ou zones, « sur la largeur desquelles il existait un équilibre ou une *indifférence* de direction de « l'eau facile à constater ; de plus, nous ne pensons pas que ces zones ou leurs axes « soient des lignes exactement droites, mais qu'elles ont des courbures dépendantes « de diverses circonstances locales.

« Enfin, on concevra aisément, avec un peu de réflexion, que les lignes de *parti* « *d'acqua* du flot ne doivent pas, en général, être les mêmes que celles du jusant.

« L'entrée ou l'ascension de l'eau dans les lagunes est déterminée, non-seulement « par la grandeur des passes ou orifices, mais par d'autres circonstances qui tiennent « exclusivement à l'état extérieur de la mer ; or, après l'étale et lorsque l'eau des « lagunes devient prépondérante, l'influence de ces circonstances n'a plus lieu, et il « en existe de nouvelles qui n'avaient pas agi sur le flot, qui modifient le mouvement « du fluide dans l'intérieur et à la sortie de ces lagunes, et dont une des principales « est la configuration du fond ou récipient qui contient l'eau.

« Ce dernier phénomène est remarquable parce qu'il conduit à des conséquences « très-importantes relativement aux ouvrages d'art que nous proposerons, dans la suite « de ce mémoire, comme moyens d'approfondir la passe de Malamocco. En effet, dès « qu'il est constaté qu'une portion quelconque de l'eau que le flux fait entrer par une « passe peut être déterminée, en vertu d'obstacles intérieurs, à ne pas sortir par la « même passe, mais par une des passes voisines, il est évident que lorsque la nature « ne fournira pas de pareils obstacles, l'art pourra y suppléer et augmenter ainsi la « masse d'eau qui s'échappe par telle ou telle passe, sans diminuer le volume total de « celle que le flux introduit dans les lagunes.

« Comme le succès des ouvrages extérieurs de la passe, relativement à la coupure « du banc de Malamocco, dépend de l'intensité du courant, et par conséquent du plus « grand volume d'eau qui, pendant le jusant, s'écoulera par cette passe, il est néces- « saire de déterminer la plus grande masse qu'il sera possible, des eaux que le flot « introduit dans la lagune, à sortir par cette bouche.

« Les lignes nommées *acqua partita* ou *parti d'acqua*, qui forment, ainsi qu'on l'a « dit, la séparation des masses qui s'écoulent par les principales bouches, sont placées « sur les cartes, pour le port de Malamocco, l'une en XX à l'est, entre Santo-Spirito « et Santo-Clemente ; l'autre en YY, à l'ouest du côté de Chioggia.

« Il serait possible et à peu de frais de changer le régime de ces lignes de *parti « d'acqua* ou *acqua partita*, et d'augmenter le volume actuel des eaux qui s'écoulent par « Malamocco, en formant sur les *paludes* qui séparent les canaux qui découvrent à mer « basse, des digues insubmersibles en fascinages OO, PP, QQ, RR et SS, TT, VV, « vers Chioggia, élevées de 5 pieds ($1^m,60$) au-dessus des basses mers, c'est-à-dire « 2 pieds ($0^m,65$) au-dessus du *commune*, et dirigées vers l'embouchure de Malamocco. « Ces digues, disposées en écharpe, ainsi qu'il est indiqué au plan, et *séparées les unes « des autres*, laisseraient entre elles des intervalles ou bouches de 150 toises (296 mètres) « de largeur par lesquelles le flot qui entre par les bouches voisines, et dont il est « essentiel de ne pas troubler le régime, pénétrerait dans la portion de l'ancienne *acqua « partita*, qu'on veut faire tourner au profit de Malamocco : mais dès que le jusant se « ferait sentir, ces digues feraient fonctions d'*entonnoir*, détermineraient toute la « masse des eaux qui serait comprise dans leur intervalle à sortir par la bouche de « Malamocco, et augmenteraient considérablement l'intensité du courant : ces ouvrages « seraient à peu près semblables à ceux que, dans une même circonstance, on a ingé- « nieusement établis dans le Zuiderzée. A l'embouchure de sortie de cette mer dans le « détroit du Texel, avant la construction des digues en entonnoir, le port du Helder « n'avait qu'une profondeur d'eau insuffisante pour les vaisseaux ; à peine ces ouvrages « ont-ils été établis, que le courant augmenté a creusé le port du Helder, qui n'est « qu'un véritable chenal ; et aujourd'hui il y a 25 et 30 pieds d'eau ($8^m,15$ à $9^m,70$).

« D'après le succès de cette expérience, dont le résultat est entièrement d'accord « avec la théorie, on ne doute pas que ce moyen, employé dans la lagune, n'y produise

« le même effet. Il n'occasionnerait pas une dépense considérable : la toise courante « ($1^m$,97) de ces digues en simple clayonnage ne coûterait pas plus de 50 francs ; leur « longueur totale est de 3000 toises (5910 mètres), ainsi une somme de 150,000 francs « ferait face à cette dépense. »

On pourrait peut-être douter que les zones d'eau comprises à haute mer entre les lignes des digues XX, YY et les *faîtes* primitifs des eaux dits *acqua partita* se remplissent d'eau au flot après l'établissement des digues, et par les intervalles de séparation de 150 toises (296 mètres) de largeur de chaque ligne de digues, aussi complétement et de la même manière qu'avant l'établissement de ces digues. Mais en admettant même qu'une partie de ces zones eût été alimentée au flot par la bouche du *Malamocco*, il n'y en aurait pas moins eu, au flot et au jusant, un plus grand volume d'eau s'écoulant par cette bouche dans un temps donné, et, par suite, la vitesse d'eau étant plus grande eût été plus efficace pour entretenir ; 1° la profondeur des canaux intérieurs ; 2° celle de la passe nouvellement creusée à travers le banc extérieur de Malamocco et resserrée par les jetées extérieures projetées.

Des principes analogues ont déterminé, en 1816, l'administration des ponts et chaussées à abandonner, sur les observations de M. Lamblardie fils, alors directeur des travaux maritimes au port militaire de Lorient, le projet de barrer par un pont éclusé la rivière du Scorff à l'amont du port militaire. Cette opération, qui aurait eu pour objet le dessèchement de lagunes vaseuses en amont de ce pont, aurait aussi déterminé à l'aval le comblement rapide du chenal du port militaire, en le privant, au jusant, du courant rapide des eaux aujourd'hui introduites par le flot dans toute la vallée du Scorff, jusqu'à deux lieues en amont de l'emplacement du pont qui avait été projeté.

Les mêmes principes ont été opposés par M. Lamblardie fils au projet de barrage de la Seine près du Havre, pour l'établissement d'un canal maritime du Havre à Paris. Enfin ils ont guidé récemment le tracé des digues submersibles de rétrécissement de la Loire, en aval de Nantes.

En Angleterre, l'ingénieur Stevenson a opposé avec succès les mêmes principes à l'exécution d'un barrage éclusé, qui avait pour objet de soustraire à la submersion par les marées une étendue considérable de la vallée de Montrose en Écosse. (Voir les *Voyages dans la Grande-Bretagne* de M. le baron Charles Dupin ; *Force commerciale*, tome II, page 118).

Ils peuvent se formuler ainsi qu'il suit :

Dans les zones inférieures du cours des rivières où les marées se font sentir, les ouvrages d'art doivent être conçus de manière à ne réduire et ne modifier que le moins possible le volume et le régime de l'eau introduite au flot, et à augmenter le plus possible la partie du volume d'eau qui s'écoule au jusant par le chenal ou thalweg nécessaire à la navigation.

Ainsi, si une rivière se divise en plusieurs bras, dont un seul soit utile à la navigation, on peut barrer tous les autres par des digues percées de nombreux aqueducs ou pertuis

ouvrant au flot, mais fermant au jusant; en sorte que tout le volume d'eau entré dans les bras secondaires soit obligé de sortir par le bras principal. On peut même renoncer à ces aqueducs et faire remplir, au flot, les bras secondaires *par leur seule jonction en amont avec le courant principal.*

Si les digues étaient submersibles pour l'évacuation des crues extraordinaires, il conviendrait de les diriger dans les bras secondaires obliquement de l'amont à l'aval vers le bras principal, parce qu'alors, malgré leur submersion à marée étale, elles détermineraient encore les eaux des bras secondaires à se porter de préférence vers le thalweg.

Enfin, on pourrait régler la hauteur du couronnement des digues submersibles, de telle façon qu'en temps ordinaire les eaux d'amont de la rivière ne les franchissent pas; mais que le flot déversât chaque jour par dessus et remplît d'eau les bras secondaires, pendant la marée montante, précisément jusqu'au niveau des digues; alors au jusant, ce volume d'eau épanché ne pourrait s'écouler que par la jonction amont des bras secondaires avec le bras principal. Les bras secondaires deviendraient en quelque sorte alors des retenues de chasse, comme celles qui ont été établies pour approfondir l'*entrée des ports de mer*.

Ce qu'on vient de dire s'appliquerait facilement à une rivière très-large de débouché à la mer, telle que la Loire, où le thalweg ne serait que dans une zone partielle de la largeur du lit.

Les figures 352 des planches représentent les endiguements submersibles en exécution depuis Nantes jusqu'à Paimbœuf, en aval. Conformément aux projets dressés par M. l'ingénieur Lemière, la crête n'est placée qu'à 1 mètre moyennement au-dessus de la basse mer ordinaire de vives eaux, et elle est indiquée aux bateliers et navigateurs par deux ou trois balises. Pl. 71. Fig. 352

Ces digues sont exécutées au reste en enrochements de gros moellons, et ces enrochements sont dirigés et soutenus par une ligne de pieux centrale, où les pieux sont espacés tantôt à raison d'un pieu pour 10 à 12 mètres de longueur, et tantôt pour 20 et 30 mètres.

**Mode d'exécution des digues insubmersibles et submersibles.**

Les digues submersibles transversales et longitudinales sont construites avec la nature de matériaux qui abonde et dont l'emploi est à *meilleur marché* dans la localité : le grand développement habituel de ces ouvrages, les avaries qu'ils ont à redouter en excluent en effet les matériaux de prix. D'un autre côté, il suffit qu'elles durent jusqu'à l'époque où les atterrissements en aient *arasé* le couronnement. Dans la Loire, en amont de Nantes, on en a exécuté en pierres perdues avec revêtements en enrochements, formés avec les blocs les plus volumineux des extractions. Dans les travaux de rétrécissement du lit de la Midouze, décrits dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831 et déjà mentionnés, on s'est servi de clayonnages avec un seul rang de piquets. Ces piquets, espacés de 50 en 50 centimètres, fichés de $1^m,30$ dans le terrain, dépassaient moyennement de $0^m,30$ le niveau des basses eaux. Les clayonnages étaient protégés par des ébouages de jeunes arbres avec toutes leurs branches. Pl. 67. Fig 331.

Aux États-Unis, on a projeté, sur l'Ohio et le Tennessée, des barrages de rétrécissement formés de deux rangées de pieux. Ces pieux équidistants dans chaque rangée sont enfoncés à la masse; des clayonnages sont entrelacés de l'un à l'autre. L'intervalle entre les deux rangées est rempli avec des cailloux ou autres matériaux qui se trouvent sous la main. Ces barrages ne dépassent pas d'ailleurs le niveau des eaux d'étiage.

Dans un projet de traversée de la Loire, dont les débats ont été insérés dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, et dont les dispositions définitives sont décrites dans l'ouvrage de M. le comte Pillet-Will, les digues submersibles qui devaient être d'abord de simples jetées en moellons, et maintenues à leur pied, sur chacune de leurs rives, par une file liernée de pieux, avec entre-toises d'une rive à l'autre, ont été exécutées en terrassements avec revêtements en perrés, sur leur talus, dans toute la hauteur immergée de l'étiage.

Pl. 74. Fig. 353. Les figures 353 des planches représentent divers genres de digues submersibles exécutées sur l'Yonne. Les tunages en fascines avec enrochements en saucissons et paniers de gravier en usage sur le Rhin pourraient convenir également aux rivières de l'intérieur.

Le mémoire de M. l'ingénieur Defontaine, déjà plusieurs fois cité, relate l'historique d'un ouvrage fort difficile de ce genre qui a été exécuté au Laemerich-Giesen, près Pl. 75. Fig. 354. Strasbourg, pour barrer un bras du Rhin attenant à la rive gauche. Les figures 354 des planches représentent la contexture de cet ouvrage. Un barrage sur le Rhin peut être décomposé en trois parties distinctes :

1° La partie centrale ou noyau, qui est un barrage ordinaire, soit en claies superposées, soit en enrochements de paniers de gravier;

2° Le recouvrement des zones supérieures par des *nappes de tunages* qui ont pour objet de former comme un radier pour le passage des eaux des crues;

3° Les enrochements supplémentaires en paniers de gravier à l'amont et à l'aval, destinés, pendant le temps de l'exécution du barrage, à préserver des affouillements sa fondation sur le lit de sable et de gravier du Rhin.

Les travaux du barrage des bras de rivières sont exposés à des accidents graves, surtout lorsque le lit des rivières est affouillable, et qu'il s'agit de reporter le thalweg dans un autre bras. Si le barrage est commencé par les deux rives du bras, de manière à resserrer progressivement le courant, ce dernier augmente de vitesse, corrode le fond, et forme une espèce de gouffre dans les zones restées libres les dernières. Si, pour échapper à ce danger, on n'exécute point le barrage par tranches verticales, mais par couches horizontales superposées, et ayant toutes pour longueur la largeur du débouché à fermer, on détermine un gonflement superficiel des eaux, une sorte de cascade à l'aval, qui affouille alors sur toute la longueur de l'ouvrage en exécution. Ce dernier ordre d'exécution paraît toutefois préférable au précédent. Il est inutile de recommander, dans ce genre de travail, le choix de la saison des basses eaux, et la plus grande rapidité possible d'exécution.

Enfin, de simples parois formées d'une ligne de pieux avec palplanches intercalaires verticales, ou avec bordages horizontaux cloués contre ces pieux sous l'eau, suffiraient dans les localités où il n'y aurait point à craindre les vers marins. Pl. 75. Fig 355.

Quel que soit le mode employé, un entretien continuel est indispensable. Il en est des rivières comme des routes; des soins assidus, une main-d'œuvre appliquée avec sagacité, surtout après les crues, sont indispensables; et l'on arrivera, tôt ou tard, à un système de cantonniers pour les rivières, analogue à celui qui a fini par s'établir sur toutes les voies de communication par terre. Déjà par les éclusiers il existe implicitement sur les canaux artificiels.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-SIXIÈME LEÇON.

BARRAGES TRANSVERSAUX AUX RIVIÈRES. — BARRAGES AMOVIBLES. — ÉCLUSES A SAS. — CANAUX DE NAVIGATION LATÉRAUX AUX RIVIÈRES. — ÉCLUSES DE JONCTION A L'AMONT ET A L'AVAL.

---

Les barrages peuvent être continus à travers toute la section d'une rivière avec passe facultative par pertuis ou écluse, ou discontinus avec passe constamment ouverte. On appelle *biefs* ou *biez* les retenues d'eau séparées par les barrages.

Les barrages dans les mêmes circonstances que ci-dessus peuvent être fixes, ou amovibles sur toute ou partie de leur hauteur, et de manière à laisser, en cas d'amovibilité, un libre débouché soit aux eaux moyennes et à la navigation, soit seulement aux eaux des crues extraordinaires.

Les barrages discontinus avec passe constamment ouverte sont de véritables rétrécissements par digues transversales, et ce qu'on a dit pour celles-ci leur est applicable. Les figures 356 des planches représentent un barrage de ce genre avec la palée de *guindage* pour remonter le pertuis. Pl. 75. Fig. 356.

Les deux extrémités du barrage, formant culées des pertuis, doivent présenter en plan des formes évasées et arrondies aux angles, et être exécutées plus solidement que le reste de l'ouvrage. Le lit de la passe et du pertuis dans les terrains affouillables devra être revêtu d'un radier général en enrochements ou en maçonnerie, et plate-forme en bois, et même en simple tunage. Ce radier se prolongera à l'aval d'une longueur égale au moins à la chute des eaux.

Les barrages continus ont pour objet de faire gonfler le niveau des eaux en amont, de manière à procurer une hauteur d'eau suffisante pour la navigation, dans les circonstances et sur les points où elle manque. Leur résultat est de diminuer la profondeur Barrages continus.

d'eau à l'aval, à cause de la grande vitesse acquise que la chute détermine dans les eaux. Les eaux gonflées déversent par-dessus le barrage sur une hauteur qui dépend de sa longueur; mais cette dernière dimension, étant toujours beaucoup moindre que celle de la rivière, donne lieu à une vitesse et à une pente assez considérables à 200 et 300 mètres en amont. Plus loin encore en amont, la section d'eau étant très-grande, la vitesse et la pente sont très-faibles, et la surface de l'eau finit par se raccorder avec la pente ordinaire des eaux. Ainsi on cite des barrages de $2^m,40$ à 3 mèt. de hau-
Pl. 73. Fig. 357. teur, qui à l'étiage ont déterminé à 200 mèt. à l'amont une pente totale de $0^m,05$, suivie d'une autre pente totale seulement de $0^m$, 10 sur 1800 mèt.

La distance et la hauteur des barrages fixes et pleins sur toute leur hauteur doivent être réglées non-seulement sur la profondeur d'eau à fournir à la navigation dans les basses eaux, mais encore sur celle d'évacuation des eaux des crues, de manière à éviter à l'amont des submersions plus étendues et plus prolongées qu'avant l'établissement des barrages.

Dans les rivières torrentielles, on pourvoit ordinairement à cette dernière condition en réservant, outre le pertuis *marinier* ou l'écluse de passage pour la navigation, des pertuis
Pl. 73. Fig. 358. d'écoulement spéciaux et de fond, qui, suivant les localités, servent aussi au trajet des trains de bois flottés. Sur plusieurs rivières, le barrage tout entier a été décomposé en pertuis. (Voir les articles sur les barrages de la Truchère et de Bellombre, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.)

La question de l'amplitude et de la dénivellation du gonflement ou remous produit par un barrage déversoir a été étudiée par beaucoup d'auteurs, et notamment par Dubuat, par MM. de Prony, Navier, d'Aubuisson, Poncelet, Bidone, Bellanger, Genieys, Wauthier, Coriolis, Saint-Guilhem et autres ingénieurs. On trouvera les résultats de leurs recherches dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835, 1836 et 1837.

M. d'Aubuisson, par la comparaison des diverses formules avec des nivellements effectués à l'amont de barrages établis en Allemagne, a été conduit à préférer la formule de M. l'ingénieur Saint-Guilhem, où la courbe du niveau surhaussé des eaux serait une branche d'hyperbole dont le sommet serait en amont du barrage *avant la chute des eaux*, et dont l'asymptote serait la ligne de pente moyenne des *eaux avant l'établissement du barrage*.

L'équation de cette courbe serait :

$$\left(\frac{y+px}{\mathrm{H}}\right)^3 - \frac{px^3}{\mathrm{H}} = \frac{1}{1+\frac{4}{g}\mathrm{H}\left(\frac{px}{\mathrm{H}}\right)^6},$$

où $x$ est la distance horizontale en mètres d'un point de la courbe au barrage, $y$ le gonflement de l'eau en mètres en ce point au-dessus du niveau primitif de l'eau, H le plus grand de ces exhaussements également en mètres en amont du barrage, $p$ la pente par

mètre du fond de la rivière supposé rectiligne. Dans la pratique, lorsqu'il n'y a pas de hauts-fonds intermédiaires, on établit ordinairement, par précaution, le barrage supérieur au point où le niveau du barrage inférieur prolongé rencontre la pente primitive qu'avait la surface de l'eau avant l'établissement de ce barrage.

La crête d'un barrage est aussi placée d'ordinaire à $0^m,20$ ou $0^m,30$ au-dessous du niveau calculé du gonflement maximum en amont. Au reste, la formule qui donne la distance $d$ de la crête d'un déversoir à ce point de gonflement, est, en prenant 0,70 pour coefficient de contraction,

$$q = 1,86\, ld\sqrt{d + 0,08\ V^2};$$

où $q$ est le volume d'eau par seconde, $l$ la largeur du déversoir, $d$ la distance cherchée, V la vitesse moyenne en amont (le mètre étant l'unité de mesure). Dans une note sur les expériences de M. Castel, insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*, M. d'Aubuisson donne une préférence motivée à la formule plus simple,

$$q = m\,\frac{2}{3}\,\sqrt{2g}.lh\sqrt{h};$$

où $m$ est le coefficient de contraction, $h$ la différence de hauteur entre la crête du déversoir et la nappe d'eau presque stagnante qui se trouve ordinairement en amont d'un barrage, et près de l'angle de rencontre avec les rives.

D'après ce qui précède, on voit que, pour se procurer dans les basses eaux une profondeur d'eau suffisante, on peut, lorsque les rives sont très-encaissées, avoir à opter entre des barrages très-élevés, mais à grande distance, ou des barrages limités à une moindre hauteur, mais plus rapprochés. A raison des chances d'atterrissements, des lenteurs pour la navigation, de la dépense pour la manœuvre des pertuis ou écluses, la première combinaison aurait quelques avantages ; mais elle expose aussi à des affouillements plus grands, et rend les passages plus difficiles pour les bateaux ; de plus, les charges d'eau croissant en raison des carrés des hauteurs d'eau, un barrage double de hauteur peut coûter quatre fois plus. On préfère donc généralement multiplier les barrages, et on ne dépasse guère pour eux la hauteur de 2 mètres ; quand il n'y a pas de sas exclusé pour le passage des bateaux, on se borne même à 1 mètre ou $1^m,30$.

Il y aurait évidemment une exception à cette règle si le fond de la rivière, étant d'une mauvaise qualité sur une grande longueur, ne présentait que de loin en loin des parties résistantes pour l'assiette des barrages.

La position des barrages sur le lit des rivières peut être diverse. On préfère les points des rivières où il y a le plus de largeur ; de plus, pour augmenter encore le débouché et diminuer la vitesse en amont, beaucoup de barrages déversoirs ont été placés oblique- Pl. 76. Fig. 359.

ment au cours des eaux; mais les eaux, déversant toujours normalement à la direction du barrage, vont alors bricoler en aval sur les rives, et y déterminent des corrosions et des alluvions.

On obtiendrait un élargissement de section en disposant le barrage en plan, suivant un arc de cercle dont le sommet serait en amont. Sur le Doubs, on a fait un barrage sous-tendu par un angle de 60 degrés : cette forme serait aussi plus favorable à la résistance, mais elle entraînerait une plus grande dépense d'appareil. On peut concilier la plus grande section avec l'économie, en disposant le barrage en chevron brisé. Cette combinaison, comme la circulaire, a l'inconvénient de resserrer le courant immédiatement à l'aval, et de provoquer des atterrissements vers les rives, où sont ordinairement les pertuis ou écluses de passage.

Pl. 78. Fig. 360.

Forme et mode de construction des déversoirs et barrages fixes.

L'expérience a démontré que la plupart des déversoirs avaient été emportés par des crues; soit à raison de la plus grande charge des eaux; soit plutôt de la grande force vive dont sont animées ces eaux, ainsi que les débris et glaçons qu'elles entraînent; soit enfin par suite des affouillements du lit en aval, lorsque le fond est susceptible d'être corrodé. Quelquefois ces déversoirs ont été tournés par les crues à *leurs enracinements* dans des rives d'une résistance insuffisante. Le mode de construction des déversoirs doit donc varier suivant les localités, et réclame de grandes précautions.

On trouvera des faits nombreux et des études approfondies sur ce genre d'ouvrages dans un Mémoire sur la navigation de l'Isle, inséré, par M. Girard de Caudemberg, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835. Il résulte de ces faits : que si les barrages présentent une surface presque verticale à l'aval, il y a en dessus de la nappe d'eau, et par la réaction de la chute d'eau lors des crues, des tourbillons à axes horizontaux, et en dessous des tourbillons dont l'axe est vertical, qui non-seulement déterminent des affouillements si le sol n'est pas résistant, mais disloquent la paroi verticale du déversoir lorsque les crues emportent des glaçons, des arbres, des roches.

Pl. 78. Fig. 361.

Si la surface aval des déversoirs est un plan incliné plus ou moins allongé, il n'y a plus qu'un tourbillon horizontal, beaucoup moins violent, et qui ne peut avoir pour effet que d'affouiller le fond au delà du plan incliné.

Pl. 78. Fig. 362.

L'avantage des déversoirs à paroi verticale est d'éteindre par la chute toute la vitesse des eaux, et de diminuer leur agitation en aval vers les rives; de plus, leur épaisseur, qu'on fait ordinairement égale à leur hauteur, produit des économies relativement à la dépense d'un déversoir incliné. Toutefois cette économie disparaît en grande partie si le fond est affouillable, parce que les risbermes en aval des déversoirs verticaux exigent beaucoup de longueur et de solidité.

Le couronnement des déversoirs est ordinairement dressé en pente descendante de la crête vers l'amont, pour faciliter l'*afflux* des filets fluides vers le déversoir.

Mode d'exécution des déversoirs.

Le mode d'exécution des déversoirs dépend et de la nature du terrain et des matériaux abondants dans chaque localité. Dans les contrées où le bois est à bon marché et où la pierre est très-rare, on a exécuté, particulièrement pour les usines, et en Angleterre

sur la Tamise et aux États-Unis des barrages en bois jusqu'à $4^m$, 70 de hauteur, suivis à l'aval d'une plate-forme inclinée en madriers, clouée sur un grillage de traversines et longrines, arrêté lui-même sur des pieux. Une ligne de pieux jointifs ou de palplanches termine ordinairement ce radier à l'aval. Il est quelquefois suivi d'un arrière-radier en fascinage ou en enrochements formés avec des paniers de graviers. Pl. 76. Fig. 363.

L'on avait exécuté sur le Blavet et *sur un fond de rocher* des déversoirs en plans inclinés, avec un noyau intérieur en terre et perrés à l'extérieur. Ils ont été emportés par les crues et remplacés subséquemment par des déversoirs verticaux avec parements en pierre de taille, du côté d'aval, sur le couronnement, et avec maçonneries de moellons à gradins du côté d'amont. L'on a construit aussi des déversoirs à parements verticaux comme les batardeaux, avec coffrages en bois, formés de pieux et palplanches, remplis en moellons, bordés sur leur couronnement, et ayant une risberme à l'aval, exécutée dans le même mode. Pl. 76. Fig. 364. Pl. 77. Fig. 365.

Enfin, l'on a établi des déversoirs avec talus vers l'aval, formés de grillages en bois sur pilotis, avec maçonneries intercalaires en moellons suivis d'une risberme, tantôt dans ce même système, tantôt en fascinages. Pl. 77. Fig. 366.

Dans la fixation des formes et dimensions d'un barrage, il faut surtout opposer une grande résistance dans le sens de la poussée ou de la *force vive de l'eau*, soit contre le pirouettement, et bien enraciner en conséquence le fond et les rives. Cette dernière recommandation s'applique *à fortiori* aux barrages établis sur un terrain affouillable.

Dans le sens de la hauteur, il ne sera nécessaire d'exécuter avec beaucoup de solidité que les fondations ou les parties des barrages ou déversoirs sur lesquelles l'eau passera ou tombera, c'est-à-dire le couronnement et la paroi d'aval : du côté d'amont un simple épaulement en terre pourra être adossé aux maçonneries.

Le but même des déversoirs fera toujours préférer du reste pour eux le système d'exécution par des batardeaux insubmersibles et submersibles.

Ce qu'on a dit sur les fondations en général et sur celles des ponts s'applique à celles des déversoirs. Toutefois, comme ils doivent retenir l'eau, il faut éviter, lorsque les déversoirs sont fondés sur grillage piloté, d'avoir des pièces de bois traversant l'épaisseur de l'ouvrage, dont la tête soit apparente en amont.

L'arrière-radier, dit risberme, doit être prolongé dans une longueur au moins triple de la hauteur du déversoir, quand la paroi aval de ce dernier sera verticale, et que le fond de la rivière ne sera pas du rocher. Il faudra surtout fortifier le point de la risberme que la chute rectiligne de l'eau vient attaquer. Une plate-forme élastique en fascinages ou en madriers paraîtrait pour cette zone préférable à du pavage en maçonnerie même de gros libages, on devrait au moins recouvrir ce pavage. Pour le reste de la risberme, des enrochements et des fascinages pourraient suffire. La tête aval de la risberme, toujours dans les mêmes hypothèses, serait arrêtée par une file de pieux en grume jointifs, ou de pieux équidistants avec palplanches intercalaires.

On a déjà dit que, pour prévenir les effets des barrages fixes sur les crues, on a, dans Barrages à pertuis.

beaucoup de localités, décomposé tout ou partie de ces barrages en pertuis, fermés dans les temps de sécheresse, et ouverts dans les temps de crues. M. de Régemorte paraît être un des premiers ingénieurs qui aient employé ce système.

Les barrages présentent alors, comme les ponts, des piles en maçonnerie ou des palées en bois formant les rives des pertuis. Ce système est aussi favorable à la navigation que celui des barrages pleins, puisque, dans les temps d'abondance d'eaux, il permet de rétablir en partie le lit primitif, et que les piles ou palées restent seules.

Mais il a des inconvénients sous le rapport des difficultés et des dépenses de la maçonnerie ; il exige, dans les terrains affouillables, des radiers intermédiaires aux piles ou palées, et même des arrière-radiers à l'aval ; car les piles ou palées, quoique submersibles aux grandes crues quand *on n'a pas besoin de ponts de service*, n'en occasionnent pas moins des gonflements à l'amont et des cataractes vers l'aval.

La grandeur des pertuis est limitée par le mode de fermeture, qui lui-même est très-variable : il y a des pertuis depuis 4 jusqu'à 8 et même 15 mètres d'ouverture, suivant les dimensions des bateaux, la violence des crues, etc.

On a employé pour la fermeture des pertuis, sur la Marne, sur l'Yonne et sur l'Aude, des planchettes verticales amovibles, appuyées par le bas contre une pièce fixe au niveau du radier, et dans le haut contre une pièce amovible, soit mobile autour d'un axe vertical, comme au pertuis de Maunoir sur l'Yonne; soit mobile de bas en haut, comme au pertuis de Bellombre, sur la même rivière. Ces pièces étaient même remplacées dans les
Pl. 77. Fig. 367. anciens pertuis par une simple corde. (Voir la notice déjà citée sur les pertuis de Bellombre, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.)

On s'est servi aussi de poutrelles horizontales, superposées dans des rainures ou ap-
Pl. 77. Fig. 368. puyées contre des feuillures, quelquefois élevées par des crics tenus sur des ponts de service, quelquefois retenues par un poteau *valet* susceptible de s'effacer par rabattement autour d'un axe horizontal ou vertical. (Voir la notice sur le barrage de la Truchère, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.)

On pourrait appliquer à la fermeture des pertuis pour la passe des bateaux la combi-
Pl. 77. Fig. 369. naison ingénieuse de porte-vanne tournante employée sur les canaux de desséchement et d'irrigation de Belgique, si elle n'exigeait un terre-plein très-large sur une des rives du pertuis. Elle est représentée fig. 369 des planches.

Pl. 77. Fig. 370. Quand les pertuis ne doivent pas servir à la navigation, on les a ouverts et fermés 1° par des vannes à l'aide de crics ou de vis; 2° par des clapets à axe horizontal à un ou plusieurs étages.

Un jeu unique de portes busquées vers l'amont a été essayé; mais pour les ouvrir contre le courant sans ouvrir auparavant leurs ventelles, il a fallu jusqu'à quinze ou vingt
Pl. 77. Fig. 371. chevaux sur un seul ventail. D'ailleurs les portes busquées exigent des piles très-épaisses. Enfin, on a eu recours à des portes tournantes analogues à celles dont il sera question dans les écluses de chasse; mais alors la navigation est gênée, à moins qu'on n'emploie des moyens compliqués, et qui réclament une grande surépaisseur dans les piles.

Tous ces procédés exigent beaucoup de temps et de dépenses, les uns pour l'ouverture, les autres pour la fermetnre.

On a inventé des appareils de fermeture mus par les crues elles-mêmes, mais leur complication les rend faciles à se déranger, et d'une réparation difficile.

Les divers procédés qu'on vient d'indiquer, les uns spéciaux pour l'écoulement des eaux, les antres servant à la fois pour l'ouverture des pertuis et la navigation, sont souvent combinés dans le même barrage.

Il est évident, d'ailleurs, que, pour économiser les ponts de service, il est généralement avantageux de placer les simples pertuis d'écoulement d'eau à l'une des extrémités d'un barrage. La même considération d'économie les fait placer souvent à côté des écluses.

La largeur du débouché des pertuis pour l'écoulement des crues et ponr le transit des bois en trains ou à bûches perdues, varie depuis 3 mètres jusqu'à 8 mètres daus les pertuis existants.

Leur radier est ordinairemeut placé au même niveau que celui du lit de la rivière en amont, et se raccorde en pente avec le lit en aval. De cette manière on peut faire usage des pertuis d'écoulement, même pour le passage des bateaux. Le fond de ces pertuis, dans les terrains affouillables, doit être muni d'un radier et arrière-radier d'aval, comme il a été dit pour les passes constamment ouvertes.

Barrages fixes dans la partie inférieure, avec hausses amovibles dans le haut.

Le barrage entièrement plein et le barrage à pertuis comprennent une variété intermédiaire; ce sont les barrages pleins dans la partie inférieure de leur hautenr, avec hausses amovibles dans leur partie supérieure lors des crues. Ces hausses, étant moins chargées par l'eau que dans les pertuis avec écoulement de fond, peuvent être plus légères, d'une manœuvre plus facile que les aiguilles, poutrelles et antres moyens de fermeture indiqnés ci-dessus; mais ce système ne tient pas, comme celui des pertuis, le débouché libre à la navigation dans le cas d'abondance d'eaux; il exige cependant, comme ce dernier, des couronnements solides, et, comme celni des barrages entièrement fixes et pleins, des arrière-radiers pour empêcher les affouillements lorsque le fond n'est pas résistant.

Ce système est projeté pour l'amélioration de la navigation sur la Petite-Saône. La partie fixe s'élèvera tantôt à $0^m,50$, tantôt à $1^m,20$ au-dessus de l'étiage; et la partie mobile aura, dans les mêmes circonstances, $1^m,32$ à $0^m,40$ de hauteur. Les hausses mobiles, de $0^m,40$ à $0^m,80$ de banteur, seront mobiles autour d'axes horizontaux. Lorsque l'eau s'élèvera à nn niveau où la crue commencerait à être dangereuse, elle se précipitera dans des onvertures pratiqnées à ce niveau, et, par son propre poids, fera tourner les hausses : celles-ci, après le passage des crues, seront relevées par les éclusiers. Pl. 77. Fig. 372.

Barrages amovibles sur toute leur hauteur.

Les entraves que les piles et palées des barrages à pertuis apportent à l'écoulement des eaux et au passage des bateaux dans les temps d'abondance d'eaux, ont fait rechercher à M. l'ingénieur en chef Poirée les moyens de faire disparaître à volonté lo barrage

tout entier, et de le rétablir par des manœuvres fort simples. L'essai de son système a réussi sur plusieurs rivières et notamment sur l'Yonne, et doit être appliqué sur la Saône, l'Aisne, et, sur une plus grande échelle encore, sur la Seine, au passage de la *morue*, en aval de Paris près Marly.

Pl. 78. Fig. 373. Il consiste à remplacer les piles ou palées fixes par des tréteaux métalliques, liés les uns aux autres par des chaînes, et pouvant se rabattre transversalement à la rivière autour de leur base comme charnière. Cette base est un encaissement refouillié dans un radier général, de manière que les tréteaux rabattus ne forment pas saillie dans le courant. Quand ces tréteaux sont debout, ils sont liés dans le haut par des tringles amovibles en fer, et c'est contre ces tringles et un seuil fixé dans le radier qu'on applique des *aiguilles*, *fermettes* ou *palettes* verticales en bois de $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur, analogues à celles dont il a été parlé ci-dessus, et que l'eau elle-même fait appuyer contre les tringles et le seuil. La distance des tréteaux est évidemment égale à leur hauteur, plus le jeu nécessaire; elle peut varier de $1^m,60$ à 2 mètres, et même aller jusqu'à 3 mètres. Dans ce système, comme dans celui des pertuis à piles ou palées fixes, on peut à volonté fermer ou ouvrir une partie ou la totalité des pertuis pour le passage des eaux ou des bateaux,

On pourrait craindre que des alluvions ou des corps charriés par les crues ne rendissent quelquefois difficile la manœuvre des tréteaux; mais on sera rassuré contre ces effets en réfléchissant que rien ne tendra à arrêter ces alluvions, puisque la rivière sera rendue à son débouché naturel, dans les temps d'abondance d'eau et de grande vitesse.

M. l'ingénieur Poirée évalue les dépenses d'établissement de ce genre de barrages amovibles à 1,000 fr. au plus par mètre courant, tout compris, et pour un tirant d'eau navigable de $1^m,50$.

Passages pour la navigation. Quel que soit le système de barrage des eaux à l'étiage, il est nécessaire de lui annexer un passage pour la navigation. On a donné à ces passages le nom de *passelière*, *portière*, *pertuis* et d'*écluse*, suivant leur système de fermeture. Ils se nomment *écluse à sas* lorsque la chute d'eau est rachetée, comme dans les canaux de navigation à eaux stagnantes.

Les largeurs de ces passages dépendent de celles maximum des bateaux; et la longueur et la largeur du sas dans les écluses à sas dépendent aussi des dimensions des bateaux et du nombre qu'on en veut faire monter ou descendre *simultanément*. Les passelières et portières sont des pertuis analogues à ceux qui ont été décrits ci-dessus, fermés semblablement, mais dont les bajoyers sont beaucoup plus allongés vers l'aval, afin de guider les bateaux et surtout de rendre plus douce la pente curviligne à double courbure de raccordement des eaux d'amont avec celles d'aval.

Passelières, pertuis.

Pl. 78. Fig. 374. Pour atténuer encore cette pente, on ouvre le pertuis un quart d'heure ou une demi-heure avant le passage des bateaux montants ou descendants, bien qu'il en résulte souvent un abaissement d'eau fâcheux dans le bief en amont. On a conseillé de donner une inégale longueur aux bajoyers vers l'aval, afin de diminuer le bouillonnement et le

bourrelet d'eau qui se forme à la jonction de l'eau *du passage* avec celle qui tombe par-dessus le barrage.

La construction du radier des passelières présente des difficultés ; si on le prolonge beaucoup et en ligne droite descendante, il est à craindre qne le bateau, dans ses oscillations, ne vienne le frapper ; si on le fait très-court, il peut en résulter des affouillements graves vers l'aval, lorsque le fond n'est pas résistant.

La manœuvre du passage s'opère par le touage, à l'aide de cordes ou de chaînes, tantôt tirées sur le bateau, tantôt à terre ; il est avantageux, par suite, qne la passelière soit située, autant que possible, près des rives et non au milieu d'un barrage.

Le mode d'ouverture des pertuis doit être aussi rapide que possible, afin que le bateau ne soit pas exposé à rester dans un bief trop appauvri, et puisse en quelque sorte traverser la passelière en même temps que l'eau qu'on fait écouler au préalable pour diminuer la chute. Les bajoyers des passelières n'ont besoin, au reste, d'être imperméables que près des fermetures, et pourraient, sous ce rapport, n'être que des murs en maçonnerie de pierres sèches à gros blocs, et même de simples talus revêtus de perrés : on peut les exécuter aussi en bois comme les coursiers de moulins. Toutefois, à raison des chocs des bateaux, il paraîtrait convenable de construire ces bajoyers en maçonnerie de mortier, avec un masque amovible en bois. Dans tous les cas, ils ont besoin d'être fondés très-bas dans les terrains affouillables.

Les incommodités que présentent les passelières, surtout pour les bateaux, leur ont fait préférer, pour les navigations importantes, les écluses à sas, analogues à celles dont il sera question pour les canaux de navigation.

C'est ici le lieu de décrire les sas.

Les sas sont de véritables appareils *mécaniques* pour faire monter ou descendre des corps au moyen de l'eau. Un sas est un bassin clos, d'une étendue superficielle très-variable, qui pent à volonté communiquer par des passages, tantôt ouverts et tantôt fermés, avec deux autres bassins ou biefs dont les niveaux d'eau sont différents. Le radier d'un sas correspond à celui du bassin ou bief inférieur ; son couronnement, à celui du bassin ou bief supérieur. La communication du sas avec le bassin ou bief supérieur exige que le premier soit rempli d'eau au préalable, presque jusqu'au niveau de l'eau de ce bassin : ce remplissage pent se faire avec l'eau de ce dernier ou *avec toute autre disponible*. La communication du sas avec le bassin ou bief inférieur exige qu'au préalable ce sas, s'il est plein d'eau, soit vidé jusqu'à ce qu'il y ait équilibre avec l'eau du bassin ou bief inférieur : l'évacuation peut se faire dans le bief inférieur, *ou par toute autre issue*. On indique ici comme exemple une écluse projetée par M. Goury aîné, sur la rivière canalisée de Rance en Bretagne. Écluses à sas. Pl. 78. Fig. 373.

On voit que les écluses à sas sont assimilables aux biefs des rivières séparés les uns des antres par des barrages transversaux avec pertuis. Dans ce dernier système, le raccordement des niveaux d'eau de l'amont à l'aval s'opère par une espèce de cascade d'eau, et les bateaux passent en *même temps que l'eau* ; tandis que, dans les écluses à sas, l'eau

passe d'abord, et le bateau ensuite. De plus, le sas est un bief restreint au minimum de surface, et dépensant ainsi le minimum d'eau pour la traversée d'un bateau.

Les écluses à sas peuvent être placées soit dans le lit de la rivière, soit dans une courte dérivation ouverte de l'amont à l'aval sur une des rives. Quand une rivière se divise en plusieurs bras, le barrage principal est ordinairement établi à la tête de l'un des bras, et l'écluse à l'extrémité aval de l'autre, en sorte que le bras à l'amont de l'écluse sert de gare de stationnement pour la navigation. Gauthey avait proposé de placer un bassin, avec la destination de sas, sur une des rives, de manière qu'il pût communiquer par des portes d'amont avec le bief supérieur, et par des portes d'aval avec le bief inférieur : ces portes étaient toutes deux placées dans l'alignement de la rive. Mais cette disposition force les bateaux de se présenter en travers du courant pour entrer et sortir, en montant et en descendant, et les expose à se jeter contre le barrage. Le bassin proposé par Gauthey aurait d'ailleurs besoin d'une largeur au moins double de celle des bateaux, pour qu'ils pussent effectuer leurs évolutions d'entrée et de sortie.

Pl. 78. Fig. 376.

On préfère construire les écluses sur une dérivation, parce que d'abord on peut les exécuter plus facilement et sans batardeaux ; que par cette disposition les bateaux sont soustraits à l'agitation des eaux en amont et en aval du barrage, et qu'enfin les abords de l'écluse sont moins sujets à être engravés ou obstrués lors des crues et des débâcles. On les place toujours d'ailleurs à l'aval de la dérivation et avant sa jonction avec le bief inférieur, par un motif d'économie dans la construction de cet ouvrage et dans le creusement de la dérivation. La dérivation devient alors une sorte de gare de stationnement, surtout si l'on établit des *portes de garde* à l'entrée amont.

Si l'encaissement de la rivière force de placer l'écluse dans son lit, on a soin de l'établir à l'une des extrémités du barrage, sur l'une des rives, qui forme alors bajoyer ; l'autre bajoyer s'allonge au delà du barrage vers l'amont ou vers l'aval. Par cette dernière disposition, on soustrait le bajoyer à la charge d'eau du bief supérieur, et les bateaux, à leur montée et descente, sont mieux isolés des tourbillons d'eau à l'aval du barrage.

Pl. 78 Fig. 377.

Écluses à sas submersibles et insubmersibles.

Une des questions graves de construction qui se présentent dans le système de barrages avec écluses, c'est la submersibilité ou l'insubmersibilité de ces dernières lors des crues. M. Girard de Caudemberg, dans la notice déjà citée sur la navigation de l'Isle, a décrit les fâcheux accidents que les crues de la rivière d'Isle avaient produits sur les écluses avec terre-pleins *submersibles*. D'un autre côté, il est difficile, lorsque les crues s'élèvent à plus de 3 ou 4 mètres au-dessus des hautes eaux, de porter à cette élévation les couronnements des écluses, sans interrompre les chaussées de halage par des rampes et descentes très-coûteuses et très-difficiles, et sans donner aux fermetures des écluses des dimensions démesurées. D'ailleurs, dans la question dont il s'agit, la navigation est désintéressée, car elle est interrompue de fait par les crues extraordinaires.

Si les écluses sont *insubmersibles*, il est avantageux, pour rendre la manœuvre des portes tournantes plus faciles, en temps ordinaire (quand ce mode de fermeture est

adopté) de décomposer au moins celles d'aval en deux sur leur hauteur, ainsi qu'on l'a fait à l'écluse de prise d'eau du canal de Beaucaire : alors les vantaux supérieurs viennent dans le bas s'appuyer contre le haut des vantaux inférieurs. Pl. 79. Fig. 378.

Quand les écluses doivent être *submersibles*, il est essentiel que leurs terre-pleins soient en pavages maçonnés sur une aire en béton; les perrés des rives aux abords à l'amont ou l'aval doivent aussi être exécutés avec beaucoup de soin ; enfin les fermetures doivent être enlevées ou au moins tenues ouvertes, afin d'éviter, par-dessus celles d'amont, des chutes d'eau qui dégraderaient l'intérieur du sas.

Fermetures des écluses.

Les fermetures d'écluses sur des rivières torrentielles qui charrient des graviers et galets ne peuvent guère être *tournantes*, comme dans les écluses des canaux de navigation; et alors on leur préfère, au moins à l'amont du sas, l'un des moyens indiqués pour les pertuis, et notamment celui des poutrelles superposées.

Sauf ce cas, on emploie deux jeux de portes busquées avec ventelles, l'un à l'amont, l'autre à l'aval, comme celles qui seront mentionnées plus bas pour écluses de canaux de navigation. Mais *même alors* on ménage, à l'amont et à l'aval, soit des rainures, soit des feuillures pour établir des poutrelles de fermeture, tant pour remplacer les portes en cas d'accidents, et faciliter leur montage et démontage, que pour produire des chasses dans l'écluse, après en avoir ouvert les portes.

Sas des écluses.

Une écluse à sas annexée à un barrage en rivière ne manque presque jamais d'eau pour l'opération du sassement, c'est-à-dire pour élever le niveau des eaux entre les deux jeux de fermetures d'amont et d'aval au niveau des eaux d'amont; le sas ou l'intervalle entre ces fermetures ne requerrait pas la même imperméabilité que dans les écluses des canaux à navigation, et pourrait être une simple tranchée trapézoïdale revêtue en pierres, s'il n'y avait pas à tenir compte aussi des pertes de temps que la navigation éprouve dans le passage des écluses, et s'il ne fallait pas les réduire au minimum. Cette dernière considération peut aussi, dans beaucoup de cas, être opposée, conjointement avec l'augmentation de dépense de construction et d'entretien, à toute extension dans les largeurs et longueurs de sas qui aurait pour objet de faire monter ou descendre simultanément plusieurs bateaux.

Il sera préférable généralement sur les cours d'eau où la navigation est extrêmement active, soit dans le sens ascendant, soit dans le sens descendant, ou dans tous les deux à la fois, de multiplier les écluses, en les juxtaposant autant que possible et en leur donnant un bajoyer commun deux à deux. Si les navires et embarcations sont de mêmes grandeur et type, les écluses multiples auront les mêmes formes et dimensions. Si ces navires appartenaient à diverses catégories de grandeurs, on leur affecterait, suivant l'importance de ces catégories, une ou deux écluses spéciales.

Il pourrait arriver que la variété des grandeurs et types se présentât dans une navigation *du reste peu active*. On y pourvoirait alors en allongeant simplement le sas et en le munissant, outre les portes extrêmes, d'une paire de portes intermédiaires busquées comme celles d'aval. L'intervalle entre les portes extrêmes servirait pour les bâtiments

et bateaux de grand échantillon; l'intervalle entre les portes d'amont et les portes intermédiaires, pour les bâtiments de petit échantillon.

L'utilité des chasses pour nettoyer les écluses placées sur une dérivation a fait penser qu'il serait préférable de dresser le plafond de cette dérivation sur une seule pente d'environ 6 de base pour 1 de hauteur depuis l'amont jusqu'à l'aval, sanf une petite zone horizontale à l'amont des fermetures d'amont; ces dernières auraiont ainsi à peu près les mêmes dimensions que les fermetures d'aval. On gagnerait en outre, par cette disposition, plus de longueur pour les bateaux entre les deux jeux de fermetures d'amont et d'aval, puisque dans les écluses de navigation ordinaires, ainsi qu'on le verra plus bas, le mur de chute, qui se trouve en aval des fermetures d'amont, est une limite à la longueur des bateaux. Toutefois, la suppression de ce mur de chute soumet les fermetures et bajoyers d'amont à une charge d'eau permanente plus considérable de toute la hauteur de ce mur, et les rend aussi lourdes à manœuvrer habituellement que celles d'aval. On a pris au canal latéral de la Loire un moyen terme, c'est-à-dire qu'on a laissé subsister une partie du mur de chute. Aux États-Unis, on a établi, à travers le plan incliné et à peu près au milieu de sa longueur, une *herse* pour retenir les herbes et les corps flottants, qui sans cela viendraient embarrasser les vantaux des portes.

Pl. 79. Fig. 379. — Pl. 79. Fig. 380.

Mode d'exécution des écluses.

Les écluses à sas en rivière, comme les déversoirs, les pertuis d'écoulement ou de flottage, peuvent facilement être exécutés dans la saison des basses eaux avec des batardeaux de faible hauteur; parce que l'on commence généralement l'ensemble du travail par l'exécution des pertuis, et qu'alors les eaux s'écoulent par là, pendant qu'on exécute l'écluse. Les fondations de cette dernière doivent être enracinées d'au moins 70 centimètres à 80 centimètres dans le lit de la rivière, même lorsqu'il serait non affouillable, et doivent présenter comme une espèce de *tenon* aux deux têtes, particulièrement à celle de l'amont.

Si le terrain est affouillable, il faudra un avant-radier et un arrière-radier comme pour les pertuis. Enfin si l'écluse doit être établie sur un pilotis, il y aura à prendre les précautions indiquées déjà pour les déversoirs. Mais de plus pour les écluses, il faut considérer que le radier du sas tend à se soulever par l'action de la charge d'eau en amont, et y proportionner en conséquence les dimensions d'épaisseur de ce radier. Quand on se décide à exécuter ce radier en maçonnerie de pierres de taille, il ne faut pas hésiter non plus à appareiller celle-ci en voûte renversée.

On trouvera plus de détails sur les écluses et leurs fermetures dans les leçons ultérieures relatives aux canaux à point de partage.

### *Canaux de navigation latéraux aux rivières.*

Tout ce qui précède prouve combien les améliorations d'une navigation dans le lit même des rivières rencontrent de difficultés, et comment l'on a été conduit à leur préférer souvent l'établissement d'un canal latéral, dont la construction, du moins dans les

parties intermédiaires aux points extrêmes, est généralement beaucoup plus facile.

Les canaux de navigation latéraux aux rivières avec écluses à sas peuvent être en biefs avec pente ou courant d'eau vive, ou bien à biefs de niveau et eaux stagnantes.

La première catégorie comprend toutes les dérivations qui ont pour objet de servir à la navigation et à la fois à la conduite d'eaux d'alimentation, d'irrigation, d'usines et autres. Ce sont de véritables rivières artificielles. On peut y ranger aussi quelqnes dérivations, comme celle du canal de l'Ourcq, où la navigation descendante a une importance tout à fait prédominante relativement à la navigation ascendante. Dans cette hypothèse, il y aura évidemment économie, dans le nombre des écluses, à préférer les canaux *à pente*, à moins toutefois que des circonstances de terrain ne forcent, sur une partie de l'alignement de la dérivation descendante, de remonter pour redescendre; circonstance qui obligerait d'ailleurs, *avant la montée*, de se débarrasser du volume d'eau débité par la dérivation.

Les formules de M. de Prony déjà plusieurs fois citées,

$$V = ulh \qquad u = -0,07 \pm \sqrt{0,005 + 3233 \frac{ilh}{l+h}},$$

où $l$ est la largeur moyenne en mètres, $h$ la profondeur en mètres, $i$ la pente par mètre, $u$ la vitesse moyenne en mètres par seconde, V le volume d'eau en mètres cubes débité par seconde, doivent être employées pour les canaux à pente. Au canal de l'Ourcq on avait, par une analogie malheureuse avec les rivières, disposé le fond du canal dans le sens de sa longueur en une sorte de chaînette ou plutôt de polygone funiculaire; au lieu de n'avoir qu'une seule pente entre les points extrêmes. Il en est résulté, comme dans les rivières, insuffisance de hauteur d'eau et corrosions par excès de vitesse dans les zones en amont, et surabondance de hauteur d'eau et atterrissements dans les zones inférieures; et ces faits ont vérifié en quelque sorte les formules précédentes.

Même dans les canaux de dérivation où la navigation serait ascendante et descendante à peu près au même degré d'importance, l'on a projeté généralement une faible pente dans les biefs (de $0^m,05$ par kilomètre sur le canal latéral de la Garonne), pour leur faire remplir à eux-mêmes les fonctions de rigoles *d'alimentation* du canal de dérivation, et pour trouver ainsi une compensation aux pertes d'eau par sassements, évaporations et filtrations, et à la fois une force motrice ponr les usines qui seraient accolées à la dérivation. Cette dernière considération n'est pas sans importance, car à ce même canal latéral de la Garonne on aura ainsi une chute d'eau de $2^m,60$ à chaque écluse.

Le cours permanent des eaux de l'amont à l'aval de chaque écluse, dans les canaux à pente, pourrait s'établir en les faisant déverser par-dessus les fermetures amovibles des écluses, ou en laissant constamment ouvertes à nn degré convenable les ventelles ordi-

nairement pratiquées dans ces fermetures. Mais il résulterait de là un courant incommode lors du passage des bateaux dans les écluses, et une cause permanente de dégradation du radier de celles-ci. On préfère établir des aqueducs de conduite d'eau, qui contour-
Pl. 79. Fig. 381. nent extérieurement l'écluse à sas sur l'une des rives, et dont on peut même se servir comme de coursiers pour des usines mues par le courant d'eau.

Les canaux de dérivation latéraux aux rivières sont du reste exécutés suivant les mêmes principes, données et formes que les canaux de navigation artificielle, ou de jonction entre deux rivières, ou d'une rivière avec des lacs ou la mer, dont il sera question plus bas : on ne parlera ci-dessous que de quelques ouvrages plus spéciaux aux canaux latéraux.

Prises d'eau. La prise d'eau ou communication du canal latéral avec la rivière à laquelle il se rattache, exige des études approfondies, pour donner toutes les facilités désirables dans la manœuvre des bateaux, avoir une profondeur d'eau suffisante, être à l'abri des crues et surtout des atterrissements, et pour se débarrasser de ces derniers s'ils sont inévitables.

A l'occasion de l'écluse de prise d'eau du canal de Beaucaire dans le Rhône, il avait
Pl. 79. Fig. 382. été reconnu que la disposition la plus convenable était de diriger l'entrée de la dérivation de l'amont à l'aval, suivant un angle très-aigu avec le fil de l'eau ; sauf à raccorder cette direction avec l'alignement du canal, soit par des courbes, soit par un grand bassin placé à l'intersection. Ce dernier sert alors à la fois de gare de stationnement indispensable pour des fleuves sujets à des crues et débâcles. On trouvera tous les détails nécessaires sur cette écluse, dans une notice de M. l'ingénieur en chef Grangent, insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832 ; le bassin de stationnement y est placé en amont de l'écluse, dont le sas est *curviligne* en plan.

Si, au point où l'on établit la prise d'eau, il n'y a point à l'étiage une profondeur d'eau dans la rivière, on est forcé de barrer cette rivière à l'aval ; mais il peut en résulter, dans les rivières qui charrient des troubles, des atterrissements tels, qu'on perdrait tout le bénéfice du gonflement d'eau. De là : 1° la nécessité de se procurer dans ce cas un excédant de profondeur d'eau ; 2° d'enlever les alluvions par des chasses faites à l'origine de
Pl. 79. Fig. 382. la dérivation. On a rempli cette condition à l'écluse de Beaucaire, déjà citée, en réservant dans toute la longueur des bajoyers, et entre la tête de l'écluse et le Rhône, des rainures équidistantes de 3 mètres, dans lesquelles on peut engager des poutrelles formant retenue d'eau. Celle-ci s'écoule sur le fond sous une tranche de 20 centimètres de hauteur.

Les prises d'eau doivent être insubmersibles dans les crues, afin d'éviter les dégradations que causerait l'épanchement des crues, et aussi pour que celles-ci n'obstruent pas
Pl. 79. Fig. 382. la canal de dérivation par leurs alluvions. Mais pour éviter habituellement la manœuvre de portes très-lourdes, on a décomposé ces portes à Beaucaire en deux parties sur leur hauteur, dans le système déjà indiqué précédemment.

Il y a des écluses de prise d'eau disposées, relativement aux rivières sujettes à des crues, de telle manière que tantôt les eaux du premier bief après l'écluse sont plus

hautes, tantôt plus basses que celles de la rivière. Il faut alors, à chacune des deux têtes de l'écluse, deux jeux de portes busquées en sens contraire, quand ce mode de fermeture est préféré.

Un canal de dérivation latéral à une rivière rentre en aval dans cette rivière, ou bien débouche séparément dans des eaux où celle-ci aboutit. On prend ce dernier parti (comme pour le canal latéral au Rhône, d'Arles à Bouc) toutes les fois que le confluent ou l'embouchure de la rivière est obstrué par des alluvions fixes ou des barres mobiles. On avait aussi projeté un débouché spécial pour le canal latéral à la Basse-Seine, entre Villequier et le Havre (voir le mémoire de M. Lamblardie père sur l'établissement de ce canal). Jonction aval d'un canal de dérivation.

Soit que le canal débouche dans la rivière ou à la mer, il est essentiel : 1° de le diriger de l'amont vers l'aval pour faciliter les mouvements d'entrée et de sortie des bateaux, et éviter les atterrissements venant de l'amont ; 2° d'avoir une profondeur d'eau suffisante en tout temps ; 3° de pouvoir établir des chasses comme dans l'écluse de prise d'eau ; 4° que le dernier bief soit assez long et assez large pour servir en même temps de gare d'attente et de stationnement, et qu'il soit accessible habituellement, s'il est possible, sans sassement dans l'écluse de jonction. Au reste, ces gares ou bassins sont utiles dans toute l'étendue d'un canal latéral très-fréquenté. Ainsi, sur le canal latéral du Mississipi et celui de Pont-Chartrain, on a projeté, sur la longueur totale de 8102 mètres, quatorze gares de 1625 mètres carrés de surface chacune ; et de plus trois bassins dont deux aux têtes du canal, et un au milieu de sa longueur, ayant, les deux premiers 12122 mètres carrés et 5665 mètres carrés de surface, et le troisième 6038 mètres carrés.

Si les crues de la rivière ou les dénivellations de la marée s'élèvent beaucoup au-dessus du niveau permanent des eaux dans le dernier bief, on aura à étudier s'il convient de rendre ce bief submersible ou insubmersible, et dans le second cas d'y admettre ou non les eaux des crues ou des hautes marées : pour la négative, il faudrait des portes spéciales de flot opposées aux crues ou à la mer. Les fig. 383 des planches représentent la jonction avec la Loire du canal latéral à la Loire, et de celui de Briare. Celles 384 qui les suivent représentent la jonction avec la Medway du canal de ce nom, en Angleterre. Pl. 79 et 80. Fig. 383. Pl. 80. Fig. 384.

La périodicité et la régularité des dénivellations de la marée dans les ports de l'Océan donnent lieu à des dispositions spéciales pour les débouchés des canaux. La grandeur de ces dénivellations, qui, à basse mer, laissent presque toujours à sec une grande étendue du littoral, s'oppose souvent à ce qu'on place en contre-bas du niveau de basse mer le plafond de la jonction du canal. On l'établit alors à *ce niveau* ou même au-dessus, mais de manière qu'à chaque marée montante il y ait encore une profondeur d'eau au moins suffisante pendant un certain laps de temps, et dont le niveau soit en équilibre avec celui de l'eau dans le bief pour l'ouverture des portes et le passage des bateaux. Jonctions avec la mer.

Pour rendre la manœuvre des bateaux plus facile et éviter la force des courants de flot et de jusant, on prend ordinairement pour base le niveau qu'atteignent les moindres

hautes mers de mortes eaux (quartiers de lune). On évite ainsi l'opération longue du sassement; mais, d'un autre côté, on force les bateaux d'attendre pendant six heures, et l'on risque d'altérer le dernier bief de jonction par les alluvions dont sera généralement chargée la mer qu'on laissera entrer dans ce bief. Ces considérations font quelquefois préférer le système d'écluse à sas à double chute.

La question des grands sas, qui admettent simultanément plusieurs bateaux, se représente pour les écluses de prise d'eau et de jonction avec plus d'avantage que dans la navigation ordinaire; car ici l'eau ne manque pas; et les biefs de prise d'eau et de jonction servant d'attente et de stationnement, on aura toujours plusieurs bateaux à faire passer à la fois, et l'on n'encourra pas l'objection faite aux grands sas, de dépenser autant de temps et d'eau pour le passage d'un seul bateau que pour celui de plusieurs. Le temps du remplissage d'un grand sas étant plus long que celui d'un petit, peut compenser toutefois l'économie de temps que procurerait le passage simultané de plusieurs bateaux. Mais cette considération doit céder devant un autre avantage des grands sas, qui est de se prêter également au passage d'un seul grand bateau ou de plusieurs petits.

Pl. 80. Fig. 385. Les fig. 385 des planches représentent les écluses à grand sas et à petit sas d'Ostende.

On trouvera, du reste, des exemples des diverses solutions qui peuvent se présenter pour les prises d'eau et jonctions, dans les rapports sur le canal latéral à la Garonne et au canal latéral à la Loire, insérés aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832. Relativement à ce dernier canal, on fera bien aussi de lire l'ouvrage de M. le comte Pillet-Will, intitulé : *De la dépense et des produits des canaux et des chemins de fer.*

Pl. 80. Fig. 386. Les fig. 386 des planches représentent les plans topographiques de ces deux canaux, de ceux de Saint-Martin et Saint-Denis, qu'on peut considérer comme latéraux à la Seine; enfin de ceux du canal latéral de la rivière de Tennessée aux États-Unis.

On renvoie, pour les détails des formes, dimensions et du mode de construction des écluses à sas et des divers ouvrages d'un canal latéral, à ce qui sera dit ultérieurement pour les canaux de navigation artificielle à biefs de niveau et eaux stagnantes.

Tracé des canaux latéraux aux rivières. Les canaux latéraux aux rivières sont, autant que possible, établis dans la vallée où coule la rivière principale, afin d'éviter des montées et des descentes, ou des tranchées et des passages souterrains, et afin de pouvoir puiser dans la rivière même les moyens d'alimentation.

Mais dans les vallées très-encaissées, comme celles du Rhône et d'une partie de la Garonne en aval de Toulouse, l'on est dans l'alternative ou de suspendre en quelque sorte le canal de dérivation sur des coteaux abrupts, avec des difficultés d'exécution très-grandes et des chances de filtrations énormes, ou d'en prélever l'emplacement sur le lit même de la rivière, en isolant le canal de la rivière par des digues ou même des murs, qui, étant exposés à l'action de l'eau sur leurs deux faces, exigent une grande solidité. Si la rivière n'est pas sujette à des crues très-considérables, on rend insubmersibles la digue d'isolement et les autres ouvrages d'art de cette zone du canal : mais, dans le cas contraire, malgré les inconvénients graves de la submersibilité, on est forcé de

la subir, en consolidant tous les *terre-pleins* des rives du canal et de ses écluses, de manière à éviter leur corrosion par les crues.

Les canaux latéraux aux rivières rencontrent tous les affluents de celles-ci en restant dans la même vallée; de là des questions très-compliquées sur les moyens de les franchir. Ainsi on peut faire descendre le canal de dérivation jusqu'au niveau de l'affluent, que les bateaux sont alors forcés de traverser dans toutes les circonstances d'étiages et de crues. Les écluses du canal de jonction avec la rivière peuvent présenter ainsi toutes les difficultés qu'on a signalées plus haut. On peut aussi faire passer le canal au-dessus de l'affluent par un pont-canal; mais alors on s'expose à gêner la navigation de l'affluent, et surtout à faire gonfler les crues et à donner plus d'extension et de durée aux inondations.

Les obstacles que les formes et la nature du terrain peuvent opposer à l'établissement d'un canal de dérivation sur l'une des rives, obligent aussi quelquefois à le faire passer sur la rive opposée en franchissant la rivière; et alors se présentent les mêmes questions que pour la traversée d'un affluent. Les rapports déjà cités sur les canaux latéraux à la Loire et à la Garonne, l'ouvrage de M. le major Poussin sur les *Travaux d'améliorations intérieures aux États-Unis*, contiennent sur cet objet des documents d'une grande importance à méditer; la publication des rapports analogues et des débats préalables à l'exécution des grands travaux, formerait le meilleur enseignement sur l'art de les projeter : il serait complet si, subséquemment, l'historique des travaux eux-mêmes venait s'y joindre.

---

## NOTE K.

### BARRAGES ET PASSES NAVIGABLES.

Les barrages n'étant nécessaires à la navigation que dans les époques d'étiage, et les pertuis offrant de nombreux inconvénients, on emploie généralement, de nos jours, un système mixte, comprenant deux parties distinctes : l'une est un barrage fixe, formant déversoir à l'occasion, et destiné à régler le régime; l'autre, mobile à volonté, retient comme la première les eaux à l'étiage, mais pouvant rester ouverte d'une façon permanente dès que le mouillage a atteint une hauteur convenable, elle permet une navigation d'autant plus facile que le débouché du barrage mobile est plus étendu.

On peut former, comme cela a été fait, la partie mobile d'une série de pertuis; mais ce système est très-coûteux et présente de sérieux dangers pour la navigation, surtout par suite du surcroît de vitesse résultant de la contraction entre les piles; aussi préfère-t-on généralement aujourd'hui des barrages mobiles sur toute la largeur de la passe;

fermettes ou hausses peuvent être abattues et appliquées sur un radier général, quand les eaux dépassent suffisamment la hauteur de l'étiage, de sorte que le relief du barrage mobile au-dessus du fond s'efface entièrement, et qu'il se présente ainsi une passe navigable continue.

Pl. 78. Fig. 373. Deux systèmes de barrages mobiles sont employés par les ingénieurs de notre époque : 1° le barrage à aiguilles et fermettes mobiles ; 2° le barrage à hausses mobiles. Le premier système inventé par M. l'ingénieur Poiré est décrit à la page 152. Nous allons décrire le second, inventé par M. Chanoine, ingénieur français.

La première application en a été faite à Conflans-sur-Seine, et les résultats satisfaisants qu'on y a obtenus ont fait adopter ce système, en 1860, pour les barrages de la haute Seine, entre Paris et Montereau (1). Avant de passer à une description détaillée, voyons à quelles conditions doivent satisfaire les deux parties distinctes et essentielles dont se compose tout barrage à hausses mobiles, établi en lit de rivière : 1° la passe navigable ; 2° le déversoir.

1° La passe navigable sert à la navigation quand la hauteur d'eau est naturellement suffisante pour que les bateaux trouvent le tirant d'eau qui leur est nécessaire ; les hausses ne jouent alors aucun rôle ; elles sont couchées sur le radier. On ne les relève, pour former la passe, que lorsque le tirant d'eau devient insuffisant. Le seuil de la passe est au niveau du fond de la rivière ; il en résulte que, si les hausses de ce pertuis pouvaient basculer spontanément, les corps roulant au fond de la rivière viendraient s'engager entre les hausses et les chevalets qui les supportent, et la passe serait bientôt hors d'état de fonctionner. Il suit de là que les hausses des passes navigables ne doivent pas être automobiles.

2° Le déversoir, au contraire, a son seuil, non-seulement au-dessus du fond du cours d'eau, mais même au-dessus de l'étiage. Les hausses doivent être automobiles, attendu qu'il a pour objet principal de maintenir le niveau d'amont à une hauteur déterminée, quand le barrage de la passe navigable est debout. Il sert en outre à l'écoulement de l'eau pendant le relèvement des dernières hausses, opération qui deviendrait trop difficile si on laissait le niveau s'élever trop rapidement, et produire une forte chute sur les hausses qui sont encore couchées.

Pour concilier ces deux conditions, il faut, ou bien empêcher momentanément les hausses du déversoir de se relever spontanément, quand le niveau d'amont est descendu sous la cote normale, ou bien les coucher toutes sur leur radier pendant qu'on relève celles de la passe navigable. Mais, dans ce dernier cas, la manœuvre du barrage exigerait un temps considérable, et d'ailleurs, la difficulté du relèvement se représenterait alors pour les dernières hausses du déversoir. Il est donc nécessaire de relever celles-ci avant les hausses de la passe, puis de les mettre en bascule sur leurs chevalets d'une manière permanente, c'est-à-dire dans une position presque horizontale, pendant le relè-

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1859 et 1861.

vement de la passe navigable. Ce résultat implique donc, pour les hausses du déversoir, la condition de pouvoir se mettre facilement en bascule, de s'y maintenir, et enfin d'être facilement redressées par l'éclusier quand l'ouverture de la passe navigable est terminée.

*Description de la hausse mobile.*—Une hausse se compose d'un panneau rectangulaire en charpente, mobile autour d'un axe horizontal placé à une certaine hauteur au-dessus du radier (fig. 945). Cet axe est formé par la pièce supérieure d'un chevalet en fer, fixé par sa base au radier, mais susceptible de tourner autour de cette base, qui constitue ainsi un second axe horizontal de rotation. Un arc-boutant, dont le pied peut s'appuyer contre un heurtoir scellé dans le radier, et dont la tête est articulée avec celle du chevalet, maintient celui-ci dans une position verticale quand son pied porte contre le heurtoir; dans le cas contraire, l'arc-boutant et le chevalet se couchent sur le radier dans le prolongement l'un de l'autre, et la charpente de la hausse s'y couche elle-même en les recouvrant.

*Radiers.* — Le radier de la passe navigable étant un ouvrage coûteux à établir, il ne faut lui donner que la longueur réclamée par les besoins de la navigation; quant à sa largeur, elle est déterminée par la condition de pouvoir recevoir les divers organes de la hausse; l'épaisseur doit être suffisante pour résister aux sous-pressions pendant la construction, et aux forces d'arrachement et de glissement qui agissent pendant que le barrage fonctionne ou qu'on le manœuvre. Si l'on calcule ces forces d'arrachement et de glissement, l'on verra qu'elles sont énormes; aussi, pour y résister, a-t-on donné aux radiers de la haute Seine 2 mètres d'épaisseur. Ils ont été formés de béton, qui présente l'avantage de résister comme un monolithe, d'être imperméable, et de donner une attache facile pour les ancres.

*Déversoirs.*—La longueur des déversoirs est généralement une fois et demie environ celle des passes navigables. Quand la largeur du cours d'eau ne permet pas de placer le déversoir dans le prolongement de la passe et perpendiculairement à la direction du courant, on le dispose obliquement; mais l'angle d'inclinaison ne doit pas être moindre de 60°, afin d'éviter que les graviers, chassés par les eaux du déversoir ne viennent encombrer le chenal qui fait suite à la passe.

Le déversoir se compose d'un massif de béton, coulé dans un coffrage en charpente, recouvert d'un pavage en moellons, et couronné par un système de hausses; mais, comme le massif de béton pourrait subir, à la longue, des tassements nuisibles aux mouvements des parties mobiles, celles-ci reposent exclusivement (fig. 946) sur des traverses et des longrines fixées sur les deux lignes du coffrage, et sur une ligne de pilots intermédiaires enfoncés au refus dans le sol comme les pilots et les palplanches du coffrage. Le poids de ce massif en béton empêche que cette charpente ait un mouvement transversal.

*Arrière-radiers.* — La nature du terrain fera connaître s'il est utile de protéger les radiers des passes et des déversoirs contre les affouillements. Sur l'Yonne, les barrages n'ont pas d'arrière-radiers, et le besoin ne s'en est jamais fait sentir. Les graviers de la

Seine étant moins mobiles que ceux de l'Yonne, on a jugé convenable d'agir de même.

*Seuils des passes et déversoirs.* — Le seuil de la passe navigable d'un barrage doit se trouver à une profondeur au moins égale à celle du fond de la rivière en amont. Sur la haute Seine il est à 0,60 sous l'étiage; il se compose d'une pièce de bois dont la partie supérieure en saillie forme un arrêt, contre lequel vient buter la hausse. Le seuil du déversoir est composé de deux pièces de bois, l'une formant arrêt, l'autre assemblé à tenon et mortaise avec les traverses et servant de seuil.

En arrière du seuil s'encastre dans le radier le *heurtoir*, pièce de fer contre laquelle vient buter le bout de l'arc-boutant de la hausse quand celle-ci est dressée.

Nous avons déjà parlé plus haut des grandes forces d'arrachement et de glissement qui s'exercent sur le radier; elles s'y transmettent en grande partie par le seuil, aussi doit-on prendre, pour le fixer au radier, des précautions toutes particulières.

Pour chaque hausse l'on emploie une ancre, formant tirefond vertical (fig. 945). Sa tige traverse à la fois la pierre qui forme l'encastrement du seuil du radier et le seuil en bois qui porte les crapaudines du chevalet de la hausse; un écrou muni de sa rondelle la fixe sur la partie supérieure du seuil; sa boucle, placée sous la pierre de l'encastrement, est traversée par une longue barre de fer, dont l'extrémité pénètre sous la rangée de pierres de taille qui reçoit les heurtoirs.

Cette première série d'ancres ne sert qu'à relier le seuil en bois à la pierre d'encastrement et à empêcher tout mouvement de rotation de cette pierre. Une autre série d'ancres de fond sert à relier les pierres d'encastrement au massif de béton. Il y a une de ces ancres pour deux hausses; chaque ancre se compose d'un disque en fonte, placé à la partie inférieure et d'une partie filetée à la partie supérieure. Ces ancres se mettent en place lorsque l'on coule le béton. Les têtes filetées traversent une bande de fer méplat servant d'appui aux écrous; on peut remplacer ces ancres par des pilots noyés dans le massif de béton, et ayant les têtes disposées de façon que les pierres d'encastrement puissent s'y relier.

Le seuil du déversoir doit résister à des forces analogues à celles qui agissent sur celui de la passe navigable; la force d'arrachement s'exerce sur le seuil, elle est tout entière supportée par la traverse placée sous la hausse et cette charge agit de façon à l'écarter du coffrage d'amont en la faisant pivoter sur le pilot intermédiaire.

La charpente sera donc spécialement disposée de façon à résister à ce mouvement (fig. 946). La force de glissement qui s'exerce principalement par l'intermédiaire de l'arc-boutant est détruite par le poids du massif.

*Hausses des passes.*—Une hausse non automobile de passe navigable se compose des parties suivantes :

1° Un cadre en charpente (fig. 945), mobile autour d'un axe horizontal placé dans une direction perpendiculaire au courant. Quand cette charpente est debout, elle est soutenue par cet axe et s'appuie par son pied contre le seuil fixé sur le radier. Il peut être avantageux, dans plusieurs circonstances, de remplacer le bois par la tôle dans la

construction du cadre. Les hausses en bois sont plus légères et perdent presque tout leur poids par l'immersion. Mais l'emploi de la tôle simplifie leur construction, augmente leur durée et permet de diminuer lenr épaisseur.

2° Un chevalet en fer portant l'axe de rotation de la hausse. La base de ce chevalet est terminée par deux tourillons, qui sont reçus dans des crapaudines attachées au seuil ; de sorte que ce chevalet peut tourner sur sa base, et entraîner dans son mouvement la charpente de la hausse.

3° D'un arc-boutant en fer, dont la tête est articulée avec celle du chevalet, et dont le pied s'appuie contre le heurtoir en fonte scellé dans le radier.

La largeur d'une hausse de passe navigable est dépendante du système de construction adopté ; toutefois lenr grandeur est limitée par la faculté que l'on doit avoir de les manœuvrer facilement. On a admis sur la hante Seine une largeur de $1^m,20$. Les hausses ne se disposent pas jointivement : on laisse entre elles un intervalle qui varie de 5 à 15 centimètres, selon ce que débite d'eau la rivière à l'étiage. En principe ces intervalles réunis doivent former un débouché tel, que les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ du débit du cours d'eau, à l'étiage, pnissent y passer.

Pour les barrages de la haute Seine l'on a admis 8° pour l'inclinaison à donner aux hausses sur la verticale. Cet angle a pour avantage de diminuer la force verticale d'arrachement ; on pourrait être par suite tenté de le faire très-grand, mais on tomberait bien vite dans l'inconvénient d'avoir des hausses très-longues, dont le poids augmenterait beaucoup et qui seraient d'une manœuvre difficile.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à examiner les pièces servant à la manœuvre.

*Chevalet.* — Le chevalet est en fer ; sa tête, terminée à ses deux extrémités par un tourillon, forme l'axe fixe de rotation de la hausse ; les deux montants sont réunis en leur milieu par une traverse. Les tourillons de la tête du chevalet sont reçus dans deux colliers attachés aux montants intermédiaires de la charpente de la hausse. Chacun d'eux porte un arrêt qui empêche celle-ci de s'incliner au delà de 15° sur l'horizon en aval.

Théoriquement le chevalet devrait être vertical quand la hausse est dressée, toute autre position augmentant la longueur des pièces et les pressions qu'elles supportent ; toutefois, afin de mieux agencer les pièces, on lui donne une faible inclinaison vers l'aval.

*Position de l'axe de rotation.* — Les forces qui agissent sur une hausse sont : 1° la pression et la force vive de l'eau ; 2° les poids respectifs de la culasse et de la volée de la hausse ; 3° les frottements développés par les forces précédentes sur l'axe de rotation. L'équation d'équilibre entre toutes ces forces sera compliqué ; mais nous pouvons la simplifier en admettant avec M. Chanoine que la hausse soit réduite à son axe et que l'axe de rotation formé par la partie supérieure du chevalet soit sur cet axe, au lieu d'être en dehors comme il l'est en pratique.

Partant de là, l'on arrive aux conclusions suivantes :

Que, dans une eau tranquille, le centre de pression sur une face de la hansse se tronve

au tiers de celle-ci quand le niveau affleure sa crête, tandis que ce point tend à se rapprocher du milieu de la hausse, sans jamais y atteindre, à mesure que le niveau s'élève au-dessus de cette crête. On peut conclure de ce qui précède que l'axe de rotation doit être placé au tiers de la hauteur de la hausse, ou à peu près, si l'on veut que celle-ci soit automobile ; qu'il doit se trouver au milieu pour des hausses non automobiles d'une façon absolue ; et qu'il doit être placé entre le tiers et la moitié, si l'on veut obtenir une hausse qui ne devienne automobile que sous une certaine épaisseur de la lame déversante.

Nous avons dit que les hausses de la passe navigable ne pouvaient être automobiles, afin d'éviter que des corps roulant au fond de la rivière ne viennent s'engager entre la culasse et le chevalet. On peut cependant éviter cet inconvénient en disposant le système de façon que l'enlèvement de ces corps soit facile. Rien ne s'oppose plus alors à l'abaissement de l'axe de rotation et à ce qu'on diminue ainsi les dimensions de la hausse et du chevalet ; aussi c'est en partant de ces idées que M. Chanoine a mis l'axe de rotation des hausses de la haute Seine aux $\frac{4}{11}$ de la hauteur totale.

Lorsque la charpente d'une hausse est hors de l'eau, elle est à peu près en équilibre sur son axe de rotation ; mais une fois immergée, la culasse perd une grande partie de son poids ; pour éviter cet inconvénient, on fixe à la culasse un contre-poids en fonte, dont le poids est convenablement déterminé.

*Arc-boutant.* — L'arc-boutant d'une hausse (fig. 945) est la pièce importante du système ; sa tête est en forme de crosse et plate sur ses deux faces verticales, elle s'engage entre deux joues verticales soudées sur le milieu de la tête du chevalet. Un boulon relie l'arc-boutant aux joues ; ce boulon doit laisser un petit jeu transversal à l'arc-boutant dans le sens de la glissière du heurtoir.

Le pied de l'arc-boutant se termine en lentille allongée, mais aplatie à son extrémité, de manière qu'elle s'applique bien contre le front et la semelle du heurtoir. Un peu au-dessus du pied, l'arc-boutant porte une bague destinée à retenir la gaffe dont on se sert quelquefois pour abattre une hausse.

L'inclinaison la plus avantageuse à donner à l'arc-boutant paraît être 53° à peu près.

*Heurtoir.*—Le heurtoir est une pièce H (fig. 947) en fonte formant un plan incliné de forme trapézoïdale, entouré d'oreilles sur ses faces obliques. La face antérieure du heurtoir est inclinée de façon à former arrêt pour l'arc-boutant, dont le mouvement latéral est limité, d'un côté par une oreille portée par le heurtoir, de l'autre par une glissière en fer qui dirige le mouvement de l'arc-boutant lorsque la hausse s'abat.

*Barre à talons.* — Une hausse étant dressée, si l'on tire latéralement le pied de son arc-boutant appuyé contre le heurtoir, ce pied ne tardera pas à perdre son point d'appui, et aussitôt l'arc-boutant s'allongera sur le radier et toute la hausse suivant le mouvement, la charpente viendra couvrir tout le mécanisme. L'arc-boutant reçoit ce mouvement au moyen d'une barre dite *barre à talons*, parce qu'elle porte des talons ou taquets qui agissent sur les pieds des arcs-boutants. Cette barre glisse dans des tringles fixées au radier, elle est manœuvrée au moyen d'un treuil placé sur un des côtés de la passe ; si

la largeur de celle-ci dépasse 30 mètres, on divise la barre à talons en deux et l'on place un treuil de chaque côté de la passe.

*Hausses des déversoirs.*—Ces hausses sont automobiles ; elles ne diffèrent pas, quant à la forme, des hausses non automobiles des passes navigables; c'est toujours, pour chacune d'elles, un panneau en charpente susceptible de tourner sur un axe horizontal. Cet axe peut être appuyé sur un support fixe, si les crues sont insuffisantes pour que la navigation puisse se faire à certaines époques en passant au-dessus du déversoir, et que le cours d'eau ne soit pas susceptible d'être pris par les gelées. On préfère généralement aujourd'hui fixer, dans tous les cas, l'axe comme celui des hausses des passes, c'est-à-dire sur un chevalet avec arc-boutant.

Par des raisons d'économie, de facilité de construction et de manœuvre, les seuils des déversoirs sont généralement placés à plusieurs décimètres au-dessus de l'étiage de la rivière.

Nous avons vu que la propriété essentielle d'automobilité pouvait parfois devenir un défaut ; en effet, si les hausses des déversoirs, abattues sur le radier dans les grandes eaux et relevées aux approches du niveau normal, se redressaient toutes à mesure qu'on les relève, elles réduiraient si vite et dans de telles proportions le passage des eaux, que la cataracte grandirait rapidement dans la passe, et dès lors le relèvement des hausses de celle-ci deviendrait très-pénible, et parfois impossible pour les dernières.

D'un autre côté l'on conçoit que, s'il était nécessaire de coucher toutes les hausses du déversoir toutes les fois qu'on relève celles de la passe, la manœuvre du barrage exigerait un temps considérable ; d'ailleurs la difficulté du relèvement que nous avons signalé plus haut se présenterait à son tour pour les dernières hausses du déversoir. Il faudrait donc pouvoir relever celles-ci d'avance lorsqu'on voit que le niveau est en période de baisse, puis les mettre en bascule d'une manière permanente sur leurs chevalets, pendant que l'on opère le relèvement des hausses de la passe navigable ; cette question complexe a été résolue comme nous allons le voir ci-après.

Si l'on suppose : 1° que l'axe de rotation d'une hausse soit situé au tiers de sa hauteur ; 2° que les moments des poids de la culasse et de la volée se fassent équilibre ; 3° que l'eau d'amont seule exerce une pression, cette hausse se renversera de l'amont vers l'aval, en tournant sur son axe, dès que le niveau de l'eau affleurera la tête de la volée. En supposant de plus que les deux parties fussent des rectangles de même largeur et de même épaisseur, il faudrait, pour obtenir l'équilibre, que la densité de la culasse fût quatre fois celle de la volée, et cinq fois celle-ci en tenant compte de l'immersion. Mais de cette façon, la culasse deviendrait trop pesante pour la manœuvre. On peut mieux arriver au même but en plaçant l'axe de rotation de quelques centimètres au-dessus du tiers, et en prenant les dispositions suivantes :

1° Diminuer la volée, en l'amincissant depuis l'axe de rotation jusqu'à son chevêtre ,

2° Éloigner le plus possible le centre de gravité de la culasse de l'axe de rotation ;

3° Donner à la culasse un peu plus de largeur qu'à la volée, si c'est nécessaire.

Pour les hausses des déversoirs de la Seine, l'on s'est contenté d'amincir la volée, de charger la culasse d'un contre-poids, et de remonter l'axe de rotation de $0^m,04$ au-dessus du tiers de la hauteur.

Par suite du relèvement de cet axe, la hausse ne bascule plus aussitôt que le niveau d'amont affleure la crête de la volée ; l'augmentation de pression nécessaire est obtenue par une lame déversante d'une épaisseur déterminée par les dispositions prises. Voilà le premier cas de rotation.

Il est évident que si l'eau d'aval acquiert une certaine hauteur, sa pression sur la culasse pourra avoir une influence sur la rotation de la hausse, et qu'il faudra, soit par expérience, soit par calcul, déterminer les changements à apporter au contre-poids et à la position de l'axe pour rester dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Le second cas de rotation se présente lorsque, par de hautes eaux, la dénivellation de l'amont à l'aval est très-faible.

Dans l'un et l'autre cas, les hausses se relèveront peu de temps après s'être ouvertes, parce que le moment de la volée sera devenu inférieur à celui de la culasse et de son contre-poids fixe. Pour éviter ce relèvement, l'on a composé le contre-poids de chaque hausse de deux parties, l'une fixe, l'autre mobile (fig. 946). Quand la partie mobile est fixée au pied de la culasse, la hausse se meut comme si elle n'avait qu'un contre-poids fixe; mais il en est tout autrement lorsque la partie mobile est en liberté; en effet, quand la hausse est dressée, ce contre-poids mobile tombe au pied de la culasse, et agit avec un grand bras de levier; quand la hausse bascule, le contre-poids mobile glisse vers cet axe, dès que la culasse s'élève au-dessus de la volée; le moment de la culasse diminue, et si la course du contre-poids mobile est assez grande pour lui permettre de dépasser l'axe de rotation, il vient accroître encore le moment de la volée.

*Manœuvre.*—Pour relever les hausses, l'on a dû chercher le moyen d'annihiler le plus possible la résistance de l'eau; pour cela, le pied de chaque hausse est muni d'une poignée que le barragiste peut accrocher au moyen d'une gaffe; en tirant sur celle-ci, la hausse remonte en ne présentant au courant que sa tranche, l'arc-boutant ne tarde pas à dépasser le heurtoir, et il suffit alors d'appuyer sur la culasse ou bien de l'abandonner à elle-même, si elle est assez lourde, pour qu'elle se redresse.

Le moyen de relèvement précédent est facile tant que la chute n'est pas fort grande ; lorsque ce cas se présente, on peut relier la tête de chaque hausse au pied de la suivante par une chaînette. On détache successivement les chaînettes de la tête, et on agit dessus par l'intermédiaire d'un câble de traction que l'on y fixe.

L'abatage se fait, comme nous l'avons vu, par la barre à talons.

On n'abat complétement les hausses du déversoir qu'à l'approche des grandes crues, des neiges ou des glaces; autrement on les laisse osciller, le contre-poids mobile étant fixé au pied de la culasse : la passe est alors ouverte, la hauteur d'eau étant suffisante. On ne relève les hausses du déversoir et de la passe que vers l'époque où l'on prévoit que la hauteur d'eau deviendra insuffisante. Le passage se fait alors par l'écluse accolée au barrage.

*Avantages et inconvénients.* — Les barrages à hausses mobiles présentent, sur ceux à fermettes et aiguilles, les avantages suivants : 1° la sécurité dans la manœuvre pour le barragiste ; 2° une promptitude de manœuvre favorable à la navigation.

En effet, dans les premières, le barragiste doit abattre les fermettes directement et les unes après les autres, ce qui est long et dangereux ; tandis que, dans le second système, il suffit de faire mouvoir la barre à talons pour abattre plusieurs hausses à la fois.

Aussi, lorsque la navigation se fait par convois, suivant le flot au moyen de lâchures, les barrages à hausses mobiles deviennent d'un excellent emploi.

Il n'en est pas de même quand la navigation doit être plus ou moins permanente, c'est-à-dire lorsqu'on exige que les eaux ne descendent jamais au-dessous d'un certain niveau déterminé et assez notable, car il y a tout lieu de supposer que l'on exécuterait difficilement le relèvement du barrage entier pendant l'existence de la chute, et que l'on devrait par conséquent attendre, pour cette manœuvre, que le niveau ait baissé au-dessous de la hauteur normale exigée.

Avec les fermettes, ce dernier inconvénient n'existe pas, attendu qu'elles se relèvent facilement, d'abord parce qu'elles se redressent latéralement, ensuite parce qu'elles n'offrent guère de surface pleine à l'action du courant.

Il est vrai qu'il reste ensuite à placer les aiguilles, opération qui est parfois très-longue et très-pénible quand la chute est forte. E. R.

---

## NOTE *L*.

### DIGUES ET BATARDEAUX PERMANENTS.

#### *Digues.*

Lorsque les digues ne sont pas exposées à l'action d'un courant, elles se construisent simplement au moyen de remblais. Quelle que soit la terre employée, il sera bon de relier la digue au sol naturel en pratiquant dans celui-ci des tranchées d'environ 0,35 de hauteur et de largeur.

Les remblais sont établis par couches de 0,25 à 0,30 de hauteur, fortement damées. Le talus intérieur vers l'eau est revêtu, suivant les circonstances, en gazons, fascinages ou perrés. Il faudra toujours avoir soin d'assurer, s'il y a lieu, par des enrochements, fascinages ou pilotis le pied du remblai.

La terre de consistance moyenne, telle que celle des prairies, est la meilleure pour la confection des digues. Aussi doit-on chercher à en former tout le massif, ou tout au moins sur une épaisseur suffisante, les talus et surtout le talus extérieur exposé aux filtrations et aux érosements.

*Calcul et discussion du profil.* — Pour déterminer l'épaisseur et le profil d'une digue, nous partirons de l'hypothèse suivante, surtout applicable aux digues entièrement construites en terre : qu'une digue peut être considérée comme un solide inébranlable dans ses fondations, mais soumis à des pressions variables aux différents points de sa hauteur, et comme tel exposé à se diviser en tranches horizontales.

On pourrait croire que l'on doit encore admettre le glissement ou la rotation de la digue sur sa base, tout le massif ne formant qu'une masse non divisible ; mais cela n'est pas, car le glissement n'aura lieu que dans des cas très-rares, celui par exemple où le sol est composé d'une glaise détrempée, et alors on ne pourra remédier au défaut de stabilité qu'en enracinant d'une façon suffisante la digue. Quant à la rotation du massif autour d'une arête de sa base, elle ne peut évidemment pas être admise pour les digues, il faut garder cette hypothèse pour les batardeaux.

Soit CBA (fig. 948) le profil cherché. Pour simplifier la question, nous supposons que le parement d'aval CA soit vertical et que les eaux s'élèvent au niveau de la crête C de la digue.

Représentons par NM$mn$ une couche horizontale quelconque, infiniment mince, et telle que la rupture se fasse suivant son épaisseur, la partie supérieure CMN se détachant du massif $nm$BA en allant de M vers N, et de façon qu'à l'instant de la disjonction, il se produise un petit mouvement de rotation autour du point N.

La recherche du profil des digues par le calcul a donné lieu aux théories de Bossut et Viallet, de Woltman, de Prony, etc. ; d'après ces auteurs, les forces à mettre en équilibre sont :

1° La composante horizontale de la poussée des eaux ;

2° La composante verticale de cette poussée ;

3° Le poids du massif qui tend à se mettre en mouvement ;

4° La cohésion qui s'exerce sur les surfaces qui tendent à se séparer.

Prenons CD et CA pour axes des $x$ et des $y$; soit $p$ le poids spécifique de l'eau ; $p'$ celui du massif de la digue ; C la cohésion par unité de surface.

$$\text{CP} = \text{NM} = x \text{ et } \text{P}p = dx$$
$$\text{CN} = \text{PM} = y \text{ et } \text{N}n = dy$$

Dans ces conditions, les moments des différentes forces agissant autour du point N seront représentés par

$p\dfrac{y^3}{6}$ pour celui de la composante horizontale de la poussée ;

$p\displaystyle\int xydx$, pour celui de la composante verticale;

$p'\displaystyle\int\frac{x^2dy}{2}$ pour celui du massif CMN;

$\displaystyle\int\frac{\text{C}\,x^2}{2}$ pour celui de la cohésion;

En admettant toutefois, pour ce dernier moment, que les cohésions partielles des éléments $dx$ successifs soient solidaires entre elles, et se prêtent, comme dans une poutre encastrée, un appui réciproque.

L'équation d'équilibre est :

$$\frac{py^3}{6} = p\int xydx + p'\int\frac{x^2\,dy}{2} + \frac{Cx^2}{2}$$

L'intégration de cette équation est compliquée, mais on peut beaucoup la simplifier en négligeant la cohésion, ce qui ne peut nous mener qu'à une solidité plus grande. Dans cette hypothèse, l'équation devient, en posant $\frac{p}{p'} = n$ :

$$x^2 \times y^{\frac{1}{n}} = \frac{ny^{\frac{1+2n}{n}}}{1+2n} \text{ d'où l'on tire}$$

$$x = y\sqrt{\frac{n}{1+2n}}$$

Cette relation entre $x$ et $y$ est l'équation d'une droite BC inclinée sur la base AB et passant par l'origine C :

Pour les terres de consistance moyenne $n = \frac{p}{p'} = \frac{1000}{1500}$ environ.

Alors l'équation devient approximativement :

$$x = 0{,}53\ y \text{ ou } E = 0{,}53\ H.$$

Cette équation nous montre que, d'après MM. Bossut et Viallet, pour qu'une digue soit en équilibre sous la pression de l'eau, son profil doit être un triangle rectangle dont la base ait environ la moitié de la hauteur.

Suivant Woltman, ce profil doit être un triangle isocèle, dont la base soit égale aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur d'eau, le niveau de celle-ci affleurant la crête de la digue.

C'est-à-dire $E = 0{,}66$ H.

De Prony arrive à un triangle rectangle, dans lequel

$$\frac{E}{H} = \frac{p}{cp'}$$

Les formules précédentes déterminent les dimensions qui conviennent à l'équilibre strict; elles supposent des inclinaisons impossibles à réaliser sans revêtir les talus.

Aussi admet-on en pratique que l'épaisseur en crête doit être au minimum de deux pieds ou $0^m{,}65$. Un talus intérieur de moitié de la hauteur, qui ne suffirait pas pour les terres abandonnées à elle-mêmes, conviendra parfaitement lorsqu'il sera blocaillé et couvert d'un perré. Si l'on n'exécute pas le même revêtement au talus extérieur, il faut

lui donner une inclinaison qui varie suivant le degré de fluidité des terres. La digue doit, en outre, avoir, en contre-haut des eaux, une surélévation minima de 0,50.

Quand les digues sont destinées à contenir des eaux courantes, il faut s'assurer s'il y a lieu de tenir compte des chocs produits par le courant, qui s'ajoutent à la pression pour renverser le massif en le divisant par branches horizontales. L'action du courant est nulle lorsque les digues sont parallèles au fil de l'eau.

Dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire quand le choc est perpendiculaire, on remarque qu'en faisant entrer cette action dans le calcul, il n'en résulte pas une augmentation sensible dans l'épaisseur théorique trouvée plus haut pour le cas d'eaux tranquilles, surtout dans le cas où le talus vers l'eau est incliné, car alors les chocs peuvent même raffermir la digue sur sa base.

Sur les côtes et les rives des cours d'eau d'une certaine importance, les digues peuvent encore être exposées à l'action destructive soit des vagues, soit des glaçons.

La force du choc produit par les vagues varie suivant une foule de circonstances locales et atmosphériques, mais ces circonstances restant les mêmes, le calcul prouve que cette force est proportionnelle au carré du sinus de l'angle d'incidence ; c'est donc moins par leurs dimensions que par la forme de leur profil que les digues doivent résister à la violence des flots.

Woltman donne les formules ci-après pour déterminer la courbe suivant laquelle il faut profiler le talus extérieur d'une digue pour qu'elle soit également résistante sur toute sa hauteur.

$$N = \frac{2h}{a+b}$$

$$d = \frac{a-b}{N-1}$$

$h$ représente la hauteur de la digue au-dessus de son pied ;

$a$, l'inclinaison en fraction du talus à la crête;

$b$, l'inclinaison en fraction du talus au pied;

N, le nombre de points déterminés. Si B est la base, $\frac{B}{N} = z$ nous représentera l'intervalle régulier entre les ordonnées; quant à la valeur de celles-ci, on la déterminera pour un point quelconque ayant $nz$ pour abscisse par la formule

$$y = \frac{1}{2}\, d\, (nz)^2 + \left(b - \frac{1}{2}\, d\right) z$$

Il est bien entendu que l'origine des axes se trouve au pied de la digue.

Comme on le voit par la formule, $d$ représente la différence entre les accroissements de deux ordonnées consécutives.

D'après l'ingénieur hollandais Caland, la formule générale suivante peut servir à déterminer la largeur totale E, à la base, d'une digue de mer de hauteur H :

$$E = 0,15625\ H^2 + 2,25\ H.$$

dans laquelle l'auteur a supposé la base du talus d'amont, par mètre de hauteur, représentée par $\frac{10}{64}\ H^2$ et celle du talus d'aval par $1\frac{3}{4}$; l'épaisseur donnée en crête est $\frac{1}{2}$ H.

On obtient en effet :

$$E = \frac{10}{64}\ H^2 + 1,75\ H + 0,50\ H = 0,15625\ H^2 + 2,25\ H.$$

Pour établir cette formule, M. Caland a pris pour terme de comparaison la digue de West-Capelle, située sur les côtes de l'île de Walcheren ; elle est élevée d'environ 8 mètres au-dessus de l'estran et directement exposée aux vents du N.-O., qui, sur ces rivages, accompagnent le plus souvent les tempêtes et les marées extraordinaires. Cette digue ayant été reconstruite sans succès à diverses reprises sous des inclinaisons différentes, et se maintenant sous le profil actuel depuis plusieurs années, paraît offrir toutes les conditions désirables de stabilité.

La formule de M. Caland donne un minimum pour des valeurs de H inférieures à 5 mètres ; appliquée aux hautes digues baignées par la pleine mer et exposées directement aux violences des tempêtes, elle détermine des talus fortement prolongés dont la construction est impossible dans certaines localités. On devra bien alors employer des talus plus roides, sauf à les revêtir en fascinages ou en perrés.

### *Batardeaux permanents.*

L'épaisseur des batardeaux pleins en maçonnerie à parements verticaux se calcule généralement aujourd'hui par la formule suivante :

$$E = 0,845\left(H - h\right)\sqrt{\frac{p}{p'}}$$

due à Poncelet. Cette formule est basée sur la condition, adoptée par Vauban, d'un moment de résistance plus fort des 4/5 que celui de la poussée.

$p'$ représente la pesanteur spécifique de la maçonnerie, $p$ celle de l'eau, H la hauteur d'eau d'amont, $h$ celle d'aval.

Quand un batardeau se trouve dans des conditions telles, que des atterrissements puissent venir s'appuyer contre lui, il faut tenir compte de la poussée exercée par ces terres, qui agiront de la même façon que l'eau, mais qui ont une pesanteur spécifique plus grande. Aussi, au lieu de faire $p = 1000^k$ comme cela se fait dans le cas de simple pression d'eau, doit-on faire $p =$ de 1000 à $1800^k$, selon la nature des atterrissements.

Suivant M. Poncelet, sa formule peut s'appliquer lorsque le parement d'aval est

incliné, pourvu que le fruit ne dépasse pas [illegible]; elle donne alors la hauteur à $\frac{1}{3}$ de la hauteur à partir de la base.

L'épaisseur étant donnée par la formule, il faudra s'assurer si le batardeau n'a pas de tendance au glissement sur sa base; cela sera facile, puisque l'on connaît son poids, la poussée de l'eau, et que l'on peut toujours, par expérience, rechercher le coefficient de frottement de la maçonnerie sur la terre qui doit servir de base au batardeau. Généralement on pare au manque de stabilité d'un batardeau, sous ce rapport, en descendant d'une façon suffisante ses fondations.

La formule de Poncelet est indépendante de la longueur du batardeau; on lui reproche aussi de ne pas tenir compte de la cohésion des maçonneries.

Ce second reproche est fondé; cependant il serait plus exact de considérer la formule comme devant convenir seulement au cas particulier d'une maçonnerie de cohésion moyenne, et de ne l'appliquer que dans ce cas; ou bien de diminuer plus ou moins la valeur de E quand la cohésion est très-forte. Quant à l'absence de la longueur du batardeau dans la formule, elle pourrait tout au plus avoir quelque valeur pour des longueurs très-petites, lorsqu'il serait possible d'admettre une certaine répartition des pressions entre les éléments partiels du massif, considérés comme jouant plus ou moins le rôle de voussoirs.

On a comparé les batardeaux et autres murs de barrages ou de réservoirs à des poutres encastrées par leurs extrémités et soutenant la poussée d'une tranche d'eau; mais cette comparaison ne peut être admise. En effet :

1° Par suite de l'élasticité du bois, les tractions et les compressions exercées en un point réagissent sur toute la longueur de la poutre, tandis que, l'élasticité de la maçonnerie étant presque nulle, les actions de la poussée ne se propagent pas latéralement au delà de leurs points d'application;

2° Dans un mur, l'adhérence des parties est faible et le poids est très-grand; dans une poutre, au contraire, la ténacité fibreuse est très-grande, la résistance des fibres longitudinales est considérable et le poids si petit que, pour le cas dont il s'agit, on le négligerait.

3° Les extrémités d'un batardeau ne sont pas plus encastrées qu'une section quelconque de leur développement, la cohésion ne variant qu'avec la surface du profil soumis à l'arrachement.

Malgré les avantages que présenterait un large talus à l'amont (voir *Digues*), on ne donne guère aux parements des batardeaux qu'une inclinaison de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$ sur la verticale, afin de diminuer autant que possible le volume des fondations, qui sont toujours profondes et généralement très-coûteuses à cause de la sujétion et des épuisements.

On se sert souvent de la formule empirique suivante pour déterminer l'épaisseur H' à donner aux fondations dans des terres ordinaires :

$$H' = 0.40\,(H - h)$$

C'est-à-dire que l'on donne 0,m40 par mètre de hauteur d'eau. On donne moins dans un terrain compacte, et davantage dans un sol mou ou sablonneux, malgré le coffrage en pilots et palplanches que l'on donne toujours aux fondations dans ce cas.

Lorsqu'un batardeau est enraciné dans un mur de revêtement ou dans un massif considérable en maçonnerie construit sur pilotis, il faut, sur une certaine longueur de ce massif, augmenter le nombre ordinaire de pilots, afin d'éviter qu'il ne se produise des lézardes à sa jonction avec le batardeau, par suite d'un tassement différent des deux ouvrages. E. R.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-SEPTIÈME LEÇON.

DES CANAUX DE NAVIGATION ARTIFICIELLE. — CALCUL DES CONSOMMATIONS D'EAU. — RÉSERVOIRS D'EAU. — RIGOLES D'ALIMENTATION. — BIEFS DE NAVIGATION.

---

Considérations générales.

Les canaux de navigation artificielle sont des *routes d'eau stagnante*, divisées par des gradins plus ou moins élevés. L'art de les projeter consiste en ce qu'elles aient le moins de longueur possible, et que la somme de leurs gradins en hauteur soit un minimum. Les évaporations, filtrations et la traversée des bateaux étant des causes permanentes de déperdition d'eau, exigent aussi des ressources permanentes d'alimentation. De là une autre difficulté dans l'établissement des canaux de navigation ; elle entraîne dans des dépenses considérables et force généralement d'allonger leur développement.

Si, sous le rapport commercial, on compare ces canaux aux routes ordinaires et aux chemins de fer, l'on sait déjà que l'effet utile de l'effort de traction de l'homme ou des animaux est, avec la vitesse de 1 mètre par seconde, sur les canaux à eau stagnante, presque soixante fois plus grand que sur les routes empierrées, et cinq à six fois plus grand que sur les chemins de fer de niveau ; mais que ces rapports diminuent rapidement, avec l'augmentation de vitesse, au moins jusqu'à la limite de 3 à 4 mètres par seconde.

Ainsi les canaux, *du moins avec la forme actuelle des bateaux de transport*, ne conviennent généralement que pour les transports qui n'exigent pas une grande rapidité. Indépendamment de cette considération, chaque passage d'un bief au suivant, dans le même canal, dépense jusqu'à 15 à 20 minutes de temps. Ainsi, même pour les transports à petites vitesses, il peut arriver qu'on préfère les routes ordinaires.

En effet, la dépense de transport se compose : 1° de celle de la charge et de la décharge; 2° de celle du transport par unité de longueur, qui est évaluée moyennement de 0f,04 à 0f,06 par tonneau et par kilomètre ; 3° de la longueur totale; 4° des droits de

péage, qui sur chaque voie de communication représentent l'intérêt des capitaux engagés dans la construction et l'entretien annuel ; ils varient, pour les canaux existants en France, de $0^{f},016$ à $0^{f},10$ par kilomètre et par tonneau de 1000 kilogrammes, y compris le poids des bateaux et pour toute espèce de marchandises ; 5° des droits *fiscaux*, des primes d'assurance contre les risques, fraudes, soustractions, etc.

Le premier élément, dont l'influence est d'autant plus grande que le trajet est plus court, est souvent plus dispendieux pour les canaux que pour les routes, parce que les premiers ne passant presque jamais devant les magasins ou dépôts des objets à transporter, il faut d'abord au départ charger en voiture, puis décharger pour mettre en bateau, et faire les opérations inverses à l'arrivée.

Le deuxième élément est incontestablement inférieur pour les canaux. Le prix des transports sur les routes ordinaires, par tonneau et par lieue de 4000 mètres, est aujourd'hui en France, par le roulage ordinaire, de $0^{f}$, 90 ; par le roulage accéléré, de $2^{f},10$, et par les diligences, de $4^{f},50$. Il est de 2 fr. par tonneau aux États-Unis, par roulage ordinaire.

Le troisième élément est, au contraire, presque toujours plus grand pour les canaux que pour les routes empierrées et même que pour les chemins de fer.

Le quatrième est plus élevé pour les canaux que pour les routes empierrées, même quand il y a des barrières de péage ; mais généralement il est beaucoup moindre que pour les chemins de fer, où le prix par tonneau et par kilomètre n'est pas encore descendu au-dessous de $0^{f},035$, et s'est élevé jusqu'à $0^{f},10$.

On compte MOYENNEMENT, comme il a été dit à l'occasion des chemins de fer, 150,000 fr. par kilomètre de canal (écluses et ouvrages d'art compris) pour la construction première ; 1,100 fr. pour l'entretien par kilomètre, non compris les frais d'administration, et 2,600 fr. y compris ces frais.

Les évaluations *moyennes* s'effectuent aussi en comptant chaque kilomètre de canal (non compris les écluses) à 108,000 fr., et chaque mètre de hauteur rachetée par écluse ordinaire à 24,000 francs.

Aux États-Unis, le canal de la Chesapeak à la Delaware, entièrement revêtu en maçonnerie sur sa longueur, a coûté 500,000 fr. le kilomètre, et le kilomètre du bief de partage de 7 kilomètres de longueur au canal de la Chesapeak à l'Ohio (lequel comprend à la vérité un souterrain de 6700 mètres de longueur) a coûté 481,000 fr. Le canal du Mississipi au lac Pont-Chartrain, revêtu en bois sur toute sa longueur, muni de 17 gares et bassins, est évalué à 755,000 fr. le kilomètre. Les écluses de grande dimension du canal Calédodien, de 52 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur, ont coûté près de 200,000 fr. par $2^{m},40$ de chute. Le kilomètre de ce canal est ressorti à environ 588,000 francs.

On rappelle d'ailleurs qu'il n'existe pas en France de péage sur les routes ordinaires.

Le cinquième élément est variable. Toutefois, les droits du fisc en France ne dépassent pas $0^{f},15$ par tonneau et par kilomètre.

On s'explique ainsi comment des routes latérales à des canaux ont été préférées par le commerce pour des trajets peu considérables.

Toutefois, un canal nouveau, lorsqu'il ne promettrait par son revenu de péage aucune compensation *immédiate* et *directe* des frais de construction et d'entretien, pourrait être d'une haute utilité publique. Ainsi, le transit des marchandises étrangères sur le canal, peu productif sous le rapport des droits de péage, a une importance très-grande pour la navigation nationale et la prospérité des ports. Ainsi encore, un canal qui traverserait une contrée marécageuse, malsaine, infertile, l'assainirait et y développerait rapidement les exploitations agricoles et industrielles et le bien-être des populations; en sorte que l'État recevrait, par ses impôts de toute espèce, par la création de ces nouvelles valeurs, un ample dédommagement des dépenses de construction et d'entretien de la nouvelle voie de communication.

Les canaux de navigation sont divisés en deux catégories : Classification des canaux.

1° Canaux d'un seul versant compris dans le même bassin principal, comme la plupart des canaux de Belgique et de Hollande, celui d'Arles à Bone. Ces canaux ont une seule pente ascendante ou descendante.

2° Canaux à point de partage à deux versants qui réunissent deux bassins en franchissant la chaîne des reliefs de terrain qui les séparent, tels que celui de Briare, le plus ancien de tous, ceux du Languedoc, du Centre ou du Charolais, de Bourgogne, de Bretagne, la plupart des canaux des États-Unis d'Amérique, etc. Ce genre de canaux était inconnu des anciens.

Un canal de la première catégorie peut donc être considéré comme l'une des deux branches d'un canal à point de partage qui n'aurait que deux versants; et ce dernier canal se compose de ces deux branches et d'un bief culminant ou bief de partage, qui, en général, doit alimenter d'eau les deux versants.

Étant donc donnés les points extrêmes d'aboutissement d'un canal à point de partage, et les points intermédiaires de *sujétion forcée*, la question principale qui se présente d'abord, c'est la position du point de partage. Recherche du point de partage.

Il y a des exemples de points de partage naturels : par exemple, l'étang de Longpendu et celui de Cony près Epinal.

Le premier, à son extrémité sud, verse une partie de ses eaux dans la Bourbince, laquelle se rend dans la Loire; et, à son extrémité nord-est, il verse le reste de ses eaux dans la d'Heune, qui a son embouchure dans la Saône. Le deuxième, celui de Cony, est en relation à la fois avec le bassin de la Moselle, par la rivière de Niche, et avec le bassin de la Saône, par la rivière *le Coney*. Ces étangs, à deux versants opposés et naturels, ont sans doute donné l'idée des canaux à point de partage. Le premier de ces étangs a été utilisé et forme le faîte du canal du Centre ou du Charolais; le second fait la base principale d'un projet de communication entre les bassins de la Saône et de la Moselle, qui n'a pas encore reçu son exécution.

Le point de partage doit être placé le plus bas possible, pour diminuer le nombre

des *gradins éclusés*, et, par suite, la durée et les dépenses du trajet, comme aussi pour donner la plus grande facilité possible de réunir des eaux d'approvisionnement et en diminuer à la fois la consommation.

Le faîte d'une chaîne de montagnes, ainsi qu'on l'a déjà dit, présente des dépressions qu'on nomme cols, et qui jouissent de plusieurs propriétés remarquables, signalées dans les mémoires déjà cités de MM. Brisson et Torcy, et développées par l'ingénieur géographe Denaix. C'est dans ces ouvrages qu'on en trouvera l'exposé détaillé.

La vue est trop resserrée sur le terrain pour qu'elle saisisse l'ensemble des reliefs d'une grande étendue de montagnes. Les auteurs cités font remarquer que, quand des cours d'eau, placés sur les deux versants d'une chaîne de montagnes, sont parallèles, mais coulent dans des directions opposées, il y a des chances pour trouver un col dans le voisinage; qu'il y a également minimum ou maximum de hauteur de faîte lorsque les deux cours d'eau, après avoir coulé parallèlement et *dans le même sens*, se quittent pour suivre des routes obliques par rapport aux précédentes et divergentes l'une de l'autre.

En général, le caractère géographique d'un col, c'est que 1° dans son voisinage se trouvent les sources des cours d'eau de chaque bassin; 2° qu'il occupe la partie de la contrée comprise entre les sources de deux cours d'eau opposés, appartenant aux deux bassins que le faîte sépare; 3° enfin, que les vallées opposées de chaque côté du faîte sont à leur plus grand rapprochement. Si l'on joint à ces remarques que la pente et la vitesse d'un cours d'eau diminuent en s'éloignant de la source, et que, par suite, les cours d'eau secondaires ont généralement une pente plus forte que celle des rivières sur lesquelles ils s'embranchent, on pourra, sur une carte géographique ordinaire, où les faîtes des montagnes et les thalwegs des bassins sont tracés, reconnaître la zone du terrain intermédiaire entre deux vallées, où doit se trouver le minimum de relief à franchir.

En se portant ensuite sur les lieux, sur la crête de la chaîne de montagnes, pour trouver le point précis, on descendra jusqu'à ce qu'il y ait remonte. Quand ce point est ainsi découvert, il faut rechercher quelles sont les eaux qui y arrivent naturellement ou qu'on pourra y amener. MM. Brisson et Torcy ont également facilité beaucoup les explorations en limitant leur champ.

Quand on aura reconnu toutes les sources dont les eaux peuvent être amenées au point de partage, il faudra constater, par un nivellement exact, leurs positions respectives, mesurer les distances qui les séparent du point de partage, et surtout jauger leur produit dans toutes les saisons; enfin, se rendre compte approximativement des sections et pentes qu'il faudrait donner aux rigoles qui conduiraient les eaux, soit au point de partage, soit aux biefs inférieurs. L'examen géologique du terrain apprendra d'ailleurs s'il y a des chances d'obtenir, par le forage de puits artésiens, des eaux d'alimentation, sinon au point de partage, au moins dans les régions plus basses du canal projeté.

Cela fait, il s'agit de comparer les ressources ou approvisionnements d'eau qu'on aura reconnus avec les besoins de la navigation. Mais, pour l'appréciation de ces derniers,

on admettra un tracé *hypothétique* des parties des deux branches du canal qui doivent être alimentées par le point de partage, et une évaluation, également *hypothétique*, du nombre et de la chute des gradins éclusés. De plus, il faudra se donner, comme point de départ, 1° les dimensions et tirants d'eau au maximum des bateaux qui fréquenteront le canal, pour en déduire celles du canal lui-même; 2° le nombre moyen journalier des bateaux de la navigation dans les deux sens, apprécié d'après des données statistiques et d'après la prévision *même exagérée* des développements que cette navigation prendra dans l'avenir.

Les hypothèses sur la longueur des biefs à alimenter doivent être faites dans le sens le plus large; le nombre probable des écluses s'obtiendra en divisant les hauteurs totales du point de partage au-dessus des points extrêmes inférieurs de chaque branche du canal par 2m,60, hauteur probable de chute des écluses.

Dimensions et tonnage des bateaux.

Les dimensions, le tirant d'eau et le tonnage des bateaux varient beaucoup en France : réglés primitivement sur l'état défectueux de la navigation naturelle des rivières, sur l'absence de bons chemins de halage, ils tendent à augmenter : 1° avec les améliorations faites à cette navigation; 2° aussi par une activité plus grande dans le commerce; car les bateaux d'un grand tonnage étant à *chargement complet*, sous le rapport des frais de construction et de la manœuvre de halage, plus avantageux au commerce que les petits, sont substitués à ces derniers partout où le mouvement commercial est assez actif pour garantir charge pleine aux grands bateaux à chaque voyage.

C'est ainsi que les bateaux qui remontent le Rhône ont, en quinze ans, presque doublé de tonnage, et prennent maintenant 75 ton. Les bâtiments de la Basse-Seine, entre Rouen et Paris, portent jusqu'à 500 et 600 ton., ont de 6 à 7 mèt. de largeur, 50 à 70 mèt. de longueur et 2 mèt. de tirant d'eau. Sur la Meuse, les bateaux de 1m,12 de tirant d'eau portent 250 ton.

Les bateaux à vapeur américains de 120 tonneaux, naviguant sur le Tennessée, présentent les dimensions suivantes :

| | m. |
|---|---|
| Longueur du pont . . . . . . . | 30,45 |
| Largeur, non compris les roues . . | 6,07 |
| Largeur, y compris les roues . . . | 9,14 |
| Creux . . . . . . . . . . . | 2,28 |
| Tirant d'eau avec charge entière . . | 1,52 |

Les bateaux à vapeur employés sur les zones inférieures du Mississipi ont 11 mètres de largeur, 36m,50 de longueur et 2m,30 de tirant d'eau.

Les rivières canalisées et les canaux exécutés anciennement en France n'offrent malheureusement aucune uniformité dans les dimensions des écluses, et, par suite, dans celles des bateaux; de sorte que, dans les communications nouvelles à établir entre elles, on oblige le commerce à des transbordements fâcheux. Pour remédier à ce grave inconvénient, on a pris pour base, dans les canaux de grande navigation établis de-

puis 1822 : 1° une largeur de 5m,20 pour les écluses, suffisante pour les bateaux ordiuaires de 5 mètres de largeur; 2° une largenr de 10 à 11 mètres au plafond et de 16m à la ligne d'eau, pour les canaux, dimension suffisante pour le passage de deux bateaux; 3° nne longueur de sas d'écluse de 35 mètres pour des bateaux qu'on suppose avoir de 32 à 33 mètres de longueur; 4° eufiu uu tirant d'eau de 1m,30, pour leqnel on donne 1m,65 de profoudeur d'eau aux canaux. On s'est écarté de ces chiffres dans les canaux de Bretagne, où les écluses n'ont que 4m,60 de largeur de passage, probablement parce que les bateaux arrivés par la Loire à Nantes sont obligés d'y faire *escale*.

Pour les canaux de petite navigation, on suppose ou que les bateaux ont la même longueur pour ceux de graude uavigation et leur demi-largeur, comme dans le canal du Berry; ou qne les petits bateaux n'ont eu même temps que la demi-lougueur des grauds, eu sorte que quatre d'entre eux équivaudraient à un seul graud pour l'espace superficiel.

Sur les canaux iutérieurs où des bateaux à vapeur doiveut passer, on assigne en France 8 à 12 mètres de largeur aux écluses, et de 44 jusqu'à 70 mètres de longueur entre les enclaves des portes d'amont et celles des portes d'aval.

Les canaux de jonctiou de grands lacs, de bras de mer, tels que ceux de Gotbie en Suède, le canal Calédonien eu Écosse, les canaux Érié et Champlain, ceux de la Louisiane, de la Chesapeak à la Delaware, du cap Cod aux États-Uuis, pratiqués pour des bâtiments à la voile, et surtout pour des bateaux à vapeur, ont des dimensious de sections, d'écluses et de ponts correspondantes à celles des bâtiments. Au canal de Gothie et au caual Calédonien, aiusi qu'on peut le voir dans les figures 387 des plauches, les sections transversales des biefs sont : Pl. 81. Fig. 387.

| | Au plafond. | Au niveau de la banquette. | Au niveau de l'eau. | Profondeur d'eau. |
|---|---|---|---|---|
| Dans le 1er. . . | 7m,50 | 11m,50 | 14m,50 | 1m,70 |
| Dans le 2e. . . | 12 ,00 | 21 ,00 | 24 ,00 | 5 ,10 |

Les sas d'écluses out :

| | Largeur. | Longueur du buse d'amont au buse d'aval. |
|---|---|---|
| Dans le 1er. . . . | 7m,00 | 38m,00 |
| Dans le 2e. . . . | 12 ,20 | 52 ,40 |

Pl. 81. Fig. 388. Les canaux des États-Unis préseutent les sections suivantes de biefs :

| | Tonnage des bâtiments. | Largeur. Au plafond. | Largeur. Au niveau de la banquette. | Largeur. Au niveau de l'eau. | Profondeur d'eau. |
|---|---|---|---|---|---|
| | t. | m | m. | m. | m. |
| Canaux Érié et Champlain . . | 100 | 12,20 | 18,40 | 18,40 | 1,20 |
| De la Louisiane, pour bateaux à vapeur . . . . . . . . | 70 | 14,30 | | 21,48 | 2,74 |
| De la Chesapeak à la Delaware, et de la Delaware au Rariton, pour bateaux à vapeur . . | 300 | 11,00 | 18,30 | 18,30 | 2,44 |
| Canal du cap Cod. *Id.* | 130 | 11,00 | 18,20 | 18,20 | 2,44 |
| Canal du Musele-Schoal. *Id.* | 120 | 14,00 | 21,30 | 21,30 | 2,44 |

Les sas d'écluses des mêmes canaux des États-Unis présentent les dimensions suivantes :

| | Largeur. | Longueur du busc d'amont à celui d'aval. | Longueur totale. |
|---|---|---|---|
| | m. | m. | |
| Canaux Érié et Champlain . . . . . . . . | 3,66 | 27,45 | |
| Canal de la Louisiane, pour bateaux à vapeur. | 12,00 | 39,00 | 75m |
| De la Chesapeak à la Delaware. *Id.* . . . . | 6,40 | 30,45 | |
| Canal du cap Cod. *Id.* . . . . . . . . . | 8,00 | 32,65 | |
| Canal du Musele-Schoal. *Id.* . . . . . . . | 9,80 | 36,00 | |

Dans ces divers canaux, les ressources d'eau pour la consommation étaient très-abondantes.

Consommations d'eau.

Les consommations d'eau auxquelles un point de partage ou une alimentation quelconque des biefs d'un canal doit pourvoir sont :

Première catégorie, indépendante du mouvement de la navigation : 1° les pertes par évaporation ; 2° les pertes par filtration ; 3° les pertes par les fermetures ; 4° le remplissage de tous les biefs après le chômage pour cause de réparations.

Deuxième catégorie, dépendante du mouvement de la navigation : 5° les quantités d'eau nécessaires au passage des bateaux par chaque écluse ; 6° emprunts à faire au bief de partage pour subvenir à l'abaissement trop considérable des eaux dans les biefs inférieurs, par suite de l'affluence simultanée et continue des bateaux.

Pertes par évaporation.

Les pertes d'eau par évaporation sont d'autant plus grandes que les surfaces d'eau sont elles-mêmes plus étendues ; ces pertes varient d'une région à l'autre et, dans la même région, d'une année à l'autre, suivant les températures moyennes, maximum et minimum, l'état hygrométrique, les vents régnants.

Il faut en défalquer les quantités d'eaux tombées par les pluies, qui elles-mêmes sont très-variables et ne peuvent entrer entièrement en compensation, surtout dans les provinces méridionales, où elles ne tombent pas uniformément, mais par orages. En supposant une hauteur totale annuelle d'eau de pluie de 0m,60 et une évaporation de 1m,30 à 1m,50, il resterait pour perte moyenne 0m,80 à 0m,95 par an ou 0m,002 à 0m,0023 par 24 heures. Mais comme il peut y avoir en été, dans la saison des sécheresses, jusqu'à deux mois d'évaporation sans compensation de pluie, on devra compter pour la consommation d'eau, par évaporation pendant une pareille période, une tranche de 0m,010 de hauteur en 24 heures. Il est évident d'ailleurs que cette hauteur devra être appliquée non-seulement aux surfaces d'eau des biefs, mais à celle des réservoirs mêmes du point de partage et aux rigoles d'alimentation.

Pertes par filtration.

Dans des terrains homogènes, cette perte devrait être en raison de la surface des parois mouillées, de la charge d'eau, de la profondeur des couches susceptibles d'être imbibées, enfin du degré de leur saturation.

On évaluait autrefois cette cause de perte tantôt à $\frac{1}{2}$, tantôt à 1 fois et demie ou à 2 fois celle des évaporations.

Sur les canaux de Briare et de Loing, les pertes par filtration sont au moins deux fois celles par évaporation. Le canal de l'Ourcq perd encore, en 24 heures, une tranche d'eau de $0^m,06$ à $0^m,10$ d'épaisseur. Au canal du Midi, les pertes par évaporation, filtration et autres forment en tout une tranche de $0^m,03$ à $0^m,04$ de hauteur.

Mais il y a eu, sous ce rapport, des mécomptes énormes qui, sur beaucoup de canaux, ont compromis la navigation, entre autres sur ceux de Narbonne, du Centre, de Saint-Quentin, de l'Ourcq, de Bourgogne et du Rhône au Rhin.

Ainsi le canal de Narbonne, dont les berges sont en graviers, perdait après quinze ans 12 mèt. cube par mètre courant en 24 heures, ou une hauteur d'eau de $0^m,80$.

Ainsi, au canal du Centre, construit par Gauthey, dans une zone en remblais qui passait sur d'anciennes carrières, l'eau se perdait tout entière en 24 heures.

Ainsi, au canal de Saint-Quentin, où le bief de partage était établi sur un sol crayeux rempli de fissures d'une profondeur indéfinie, la navigation chômait pendant les deux tiers de l'année.

Dans les terrains argileux, qui prennent beaucoup de retrait, les alternatives de sécheresse et d'humidité, tantôt font perdre beaucoup d'eau, tantôt la retiennent tout entière.

Sans doute il y a des moyens d'art, soit pour éviter les filtrations, soit pour les arrêter. Mais ces moyens sont assez dispendieux, et leur emploi doit être mis, sous le rapport de la dépense première, de l'entretien et des chances de chômage, en parallèle avec ce que coûterait un supplément d'approvisionnement d'eau au point de partage.

Pour les cas ordinaires, on devra, surtout dans les premiers temps de la mise en service d'un canal, compter, pour les filtrations journalières, sur une tranche d'eau d'au moins $0^m,05$, laquelle devra s'appliquer également aux divers biefs et aux rigoles d'alimentation ; mais pour les réservoirs alimentaires, ce chiffre devra être *augmenté* en raison de la charge d'eau incomparablement plus grande.

Pertes par le jeu des portes.

Ces pertes dépendent de la bonne exécution et de l'entretien des fermetures d'écluse. Au canal de Saint-Quentin, il y avait des fermetures qui perdaient 1000 mètres cubes d'eau par jour. Ces pertes ne doivent être comptées qu'une fois pour chaque branche du canal, et sont assimilables à un écoulement constant d'eau d'un bief à l'autre.

On a calculé cette dépense d'eau, pour chaque branche du canal, tantôt à 80 mètres, tantôt à 100 mèt., 200 mèt. et même 300 mètres cubes : on fera bien de se baser sur ce dernier chiffre.

Remplissage des biefs après les chômages.

Les chômages sur les canaux doivent être les plus courts possibles dans l'intérêt du commerce, de la salubrité, et même de l'économie permanente d'eau, parce que les parois des canaux, desséchées par une longue exposition à l'air, pourraient donner lieu à de grandes filtrations. Par cette considération, il arrivera souvent qu'on videra simultanément tous les biefs ; il faudra alors les remplir tous à la fois.

Si les réparations dans les biefs se faisaient de bas en haut, on ne dépenserait, après le chômage, que le volume d'eau du bief le plus long, qui dans chaque versant dépendrait du point de partage pour son alimentation.

Consommations d'eau pour le passage ordinaire des bateaux.

La consommation d'eau pour les passages des bateaux ne dépend pas seulement 1° du nombre des bateaux, mais encore de l'ordre dans lequel se présentent les bateaux ascendants et descendants ; 2° non-seulement du nombre des écluses, mais encore de leur espacement, de leur isolement ou de leur accolement. La dépense d'eau doit être calculée pour le maximum dans chaque cas.

Gauthey, dans le troisième volume de ses œuvres, a donné le premier, d'une manière exacte, la dépense d'eau dans toutes les combinaisons possibles. L'inspecteur général des ponts et chaussées Ducros (voir son mémoire à la suite de l'ouvrage de Fulton sur les moyens de perfectionner les canaux de navigation) a posé les formules de dépense d'eau pour la traversée d'un bateau, dans l'hypothèse d'écluses rapprochées ou accolées, et dans celle où le sas est totalement vide d'eau. M. de Prony a généralisé pour tous les cas.

Considérons d'abord des écluses assez éloignées l'une de l'autre pour que le bief de séparation fournisse le volume d'eau ou l'*éclusée* nécessaire au passage d'un bateau, sans dépression dans le niveau des eaux qui puisse empêcher la navigation. Il serait même prudent de compter sur deux éclusées,

Un bateau montant exige qu'après avoir fermé à l'aval, on remplisse le sas jusqu'au niveau des eaux du bief supérieur. Quand le sas est plein, on ouvre à l'amont ; le bateau sort dans le bief supérieur ; on referme à l'amont et on vide le sas en faisant épancher l'eau dans le bief inférieur. Celui-ci reçoit donc le volume $R^{\circ}$ de remplissage du sas, plus le volume D de déplacement du bateau, ou $R^{\circ} + D$ ; à l'écluse suivante, la dépense sera encore $R' + D$, en supposant la chute différente ; le bief intermédiaire aura donc reçu $R' + D$ et perdu $R^{\circ} + D$ ; il ne se sera donc appauvri que de $R' - R^{\circ}$ ; le bief de partage aura dépensé pour la montée $D + R^{\circ}$. Pl. 81. Fig. 389

Si le bateau descend, on commence par remplir le sas ; on introduit le bateau, puis on vide le sas ; le bateau descend en même temps ; la dépense du bief supérieur est $R'' - D$ ; à l'écluse aval, elle sera $R' - D$ ; le bief intermédiaire aura donc reçu $R'' - D$ et dépensé $R' - D$ ; par conséquent il aura varié de $R'' - R'$ ; et le bief de partage aura dépensé $R'' - D$ : donc sa dépense totale sera $R'' + R''$.

Ainsi, tant que le volume d'eau déplacé par le bateau ou son tonnage ne varie pas, il n'a aucune influence sur la dépense du bief de partage ou sur l'état des biefs ; et la dépense d'un bateau est de deux éclusées dans chaque versant, en mesurant l'éclusée par le maximum de chute des écluses de ce versant.

Si les bateaux montants étaient à vide ou faiblement chargés, et que le contraire eût lieu en nombre égal pour les bateaux descendants, on pourrait réduire la dépense d'eau pour le passage des bateaux, et même faire *remonter l'eau au point de partage ;* mais il faudrait un grand nombre d'écluses à très-petites chutes.

Si l'on suppose des écluses rapprochées ou accolées et égales de chute, et qu'il y ait dans tous les sas de quoi faire flotter un bateau, c'est-à-dire le *prisme de mouillage*, la dépense d'un bateau montant sera évidemment $D + nR^{\circ}$ (*n* étant le nombre de sas rap- Pl. 81. Fig. 390.

prochés). Celle du même bateau descendant sera $R^e - D$, et la dépense totale $R^e (n + 1)$.

Si, dans les sas éloignés, deux bateaux passent alternativement, ils ne dépenseront chacun qu'une éclusée.

Si, dans les sas rapprochés, les bateaux se suivent, ils ne dépenseront que deux éclusées. Mais il serait impossible d'établir une marche réglementaire qui économisât ainsi l'eau sans entraver extrêmement le commerce; d'ailleurs, les sas restant longtemps pleins d'eau, les fermetures resteraient plus longtemps aussi chargées d'eau et perdraient davantage, en sorte que, par leur détraquement plus rapide, il n'y aurait peut-être aucune économie d'eau.

Il est bon d'observer que, d'après ce qui précède, le niveau des biefs sera variable entre certaines limites, puisqu'il dépendra de ce qu'il aura gagné ou perdu d'eau par les passages successifs ou alternatifs des bateaux; que, dès lors, la dépense d'eau d'une éclusée sera également variable entre certaines limites : et que cependant un bief devra toujours être susceptible de fournir, sans gêner la navigation, l'éclusée nécessaire pour le passage d'un bateau montant.

Emprunts accidentels au bief de partage.

Le concours simultané de plusieurs bateaux dans un bief, le stationnement pendant la nuit, ou toute autre circonstance pourraient avoir trop abaissé le plan d'eau, et forcé de recourir au bief de partage. Il est impossible de rien assigner à cet égard, puisque cela dépend et du nombre des bateaux concourants, et du nombre de fois que cette circonstance se présentera. Pour le point de partage entre la Loire et la Vilaine, on a compté pour cet objet $\frac{1}{10}$ en sus de la dépense totale pour le passage des bateaux.

Dans les éléments de la dépense totale d'eau, il y en a un, les *pertes par filtration*, qui offre les plus grandes incertitudes ; un autre, la *consommation des écluses*, est susceptible d'un développement progressif dû à l'activité du commerce. Il est donc essentiel, dans l'assiette du point de partage, non-seulement d'assurer l'arrivage des eaux nécessaires d'après les prévisions actuelles, mais de plus celui des quantités supplémentaires auxquelles il y aurait lieu à recourir éventuellement dans l'avenir. Ainsi le niveau auquel le bief de partage devra être établi, relativement aux terrains environnants, dépendra de la position de toutes les sources qu'il faudra y recueillir, et sera presque toujours en déblais d'une grande profondeur.

Il y a des régions à sol crayeux, où l'on ne trouve pas de cours d'eau à la surface, et où il faut pénétrer à des profondeurs quelquefois de 100 mètres et plus pour rencontrer la surface des eaux intérieures, infiltrées par les fissures *extérieures*. Lorsque sur les flancs de pareils terrains, mais loin du faîte des reliefs, il sort des ruisseaux, leur débouché indique la profondeur probable de la nappe d'eau intérieure.

Un bief de partage, dans de pareilles contrées, doit nécessairement être descendu à cette profondeur, sauf à l'exécuter en souterrain.

Tout ce qu'on vient de dire sur l'alimentation du bief de partage, lorsqu'il doit subvenir aux besoins de la navigation sur une certaine longueur des deux versants, s'applique aussi, dans chaque versant, à l'alimentation des biefs éloignés du point de partage. Il

faut recourir le plus possible à ces affluents d'eau inférieurs, pour éviter la pente et la vitesse qu'il y aurait à donner à l'eau de l'alimentation s'il fallait la tirer uniquement du point de partage, et la faire cheminer par le canal lui-même. La navigation ascendante trouverait d'ailleurs un obstacle sensible dans cette circonstance.

Mais il ne suffit pas d'être assuré que l'arrivage moyen et annuel des eaux pourvoira à la consommation; *il faut que tous les jours cet équilibre existe*. Or, les sources donnent à certaines époques trois et même dix fois plus que dans d'autres; elles sont quelquefois taries pendant une partie de l'année; la navigation n'a point non plus d'uniformité; il y aurait donc de fréquents chômages, si l'activité de la navigation correspondait précisément aux époques de sécheresse. Cette considération oblige de créer des réservoirs destinés à recueillir et conserver les eaux dans les temps d'abondance, pour ceux de pénurie. Ces réservoirs sont particulièrement nécessaires près le point de partage, mais sont souvent indispensables aussi pour les affluents inférieurs d'alimentation. On les établit d'ordinaire dans de grandes vallées qu'on barre transversalement. L'eau arrive par la surface et sort par le fond; en sorte que la profondeur d'eau de ces réservoirs est en défalcation de la pente que les eaux auraient eue si elles avaient été conduites directement aux biefs correspondants. Nécessité des réservoirs d'eau.

Après avoir constaté par un premier aperçu la possibilité d'alimenter d'eau les deux versants d'un canal, il faut en tracer les deux branches depuis le point de partage jusqu'au *premier point de sujétion*, et entre les *divers points de sujétion* dans la même branche. On appelle points de sujétion pour un canal les rivières avec lesquelles chaque branche doit être mise en communication, les exploitations industrielles, les villes commerciales qu'elle doit longer ou traverser, enfin les servitudes de défense militaire, territoriales et locales. Tracé de la direction des branches d'un canal à point de partage.

Sans doute on pourrait, par des embranchements de routes, chemins de fer, ou même des canaux, établir des communications entre une grande ligne de canal et les points dits de sujétion; mais, outre qu'on priverait ces derniers du bénéfice du transit, il y aurait à évaluer, en tenant compte des dépenses de construction et d'entretien, d'une part, pour le rallongement de la ligne principale, et, d'autre part, pour l'établissement d'un embranchement, lequel de ces deux moyens élèverait le moins le prix total des transports de toute espèce, y compris ceux en transit.

Les deux branches d'un canal s'écartent l'une de l'autre en sens opposé en suivant les vallées des cours d'eau qui ont déterminé le point de partage. Toutes choses égales d'ailleurs, il est préférable de placer chaque branche d'un canal sur le flanc de la vallée où elle rencontrera le moins d'affluents d'eau secondaires et de routes, parce que chacun d'eux opposera des difficultés au passage du canal, soit qu'il traverse ces affluents ou routes par des ponts, soit qu'il passe au-dessous, soit qu'il descende jusqu'aux affluents pour remonter ensuite. Cette dernière circonstance est généralement une chose regrettable dans le tracé des canaux de navigation comme dans celui des grandes routes, autant pour la perte de temps que pour celle d'argent. Il est utile toutefois de se tenir,

relativement à quelques-uus de ces cours d'eau, à une hauteur telle qu'on puisse y recourir pour l'alimentation des biefs.

La position d'un canal sur le flanc d'une vallée doit le mettre antant que possible à l'abri des inondations des crues du cours d'eau qui est dans le thalweg de cette vallée, mais sans l'élever beaucoup au-dessus, parce que, pour le même talus de terrain, les filtrations du canal scront d'antant plns abondantes que le canal sera plus élevé, et il sera d'ailleurs d'autant plns difficile à alimenter. Enfin, il faut éviter autant les remblais d'une grande hauteur que les tranchées profondes de déblais auxquelles on substitue des souterrains en beaucoup de circonstances.

Le coteau le moins abrupt doit être préféré, *toutes choses égales d'ailleurs*, pour l'exécution des déblais et des remblais, et pour éviter les tranchées et souterrains, ou les montées et les descentes alternatives ; mais c'est particulièrement la nature du terrain dont il faut se préoccuper. Un terraiu de rocher présentera beauconp d'avantages pour l'assiette des éclnses et ouvrages d'art, mais il pent rendre aussi les remblais très-dispendieux ; et si ce rocher est crayeux et fissuré, des pertes d'eau énormes sont à craindre. Un terrain schisteux a l'inconvénient de se décomposer à l'air et de donner une boue molle dans les pluies et gelées. Si le sol est argileux, il sera d'nne résistance suffisante pour l'établissement des écluses, commode pour les déblais et gardera bien l'eau ; mais, quand les bancs argileux sont inclinés, il arrive quelquefois que les terrains superposés glissent comme des avalanches. Si le sol est graveleux ou en gros sable, l'on est exposé à de grandes filtrations. Enfin, s'il est tourbeux ou vaseux, on éprouvera les plus sérieuses difficultés, soit ponr creuser les déblais, dont le fond tendra sans cesse à remonter sous le poids non équilibré des rives, soit pour asseoir les ouvrages d'art ; et de plus l'on n'aura que des matières de la plus mauvaise nature pour former les remblais.

L'encaissement de la vallée sur quelques points forcera souvent anssi, comme on l'a déjà dit pour les canaux latéraux aux rivières, de placer le canal longitudinalement dans le cours d'eau du thalweg.

Le passage d'un flanc à l'autre de la vallée peut être quelquefois nécessaire ; dans ce cas l'on choisit les endroits les plus resserrés, où les abords offrent le terrain le plus solide, et où les raccordements avec les alignements du cansl soient les plns commodes. Dans quelques circonstances aussi, on trouvera préférable de dévier le thalweg dn cours d'eau plutôt que d'asseoir des onvrages d'art dans l'ancieu thalweg de la rivière.

L'avant-tracé des biefs d'un canal réclame, sutant que possible, des lignes droites on d'un grand rayon de courbure, qui dispensent d'élargir le canal pour le passage de deux bateaux marchant en sens opposé. Toutefois, il y aura à considérer, dans chaque cas, si la sujétion d'un alignement rectiligue n'entraînerait pas une masse plus grande de déblais et remblais, ou une plus graude disproportion eutre les déblais et remblais que l'élargissement d'un biefcurviligne en plan ; enfin, si cet excédant de dépense serait compensé par nne diminution notable dans la durée du trajet ponr les bateaux.

Les écluses se placent ordinsirement dans les coudes et chutes rapides du terrain, de

même qu'on y place *les paliers* dans les tracés des routes en pays de montagnes. On profite aussi, pour les écluses, toutes choses égales d'ailleurs, du point de croisement d'un chemin existant ou dévié à cet effet, parce que les maçonneries des écluses peuvent alors, avec une faible augmentation de dépense, servir à la fois pour les ponts par lesquels les chemins traverseront le canal.

Du reste, on a déjà dit, pour les canaux latéraux aux rivières, comment devait s'établir le point de jonction du canal avec une rivière.

En résumé, le problème du tracé général d'une branche d'un canal à point de partage consiste à satisfaire aux intérêts de la navigation par le minimum de longueur, le minimum de montée et descente, ou d'écluses, par la plus grande régularité possible dans le parcours, et à obtenir ces résultats avec le minimum de *dépense initiale et d'entretien;* ce qui sera encore un profit pour la navigation, toutes les fois que des tarifs de péage seront établis pour couvrir ces deux genres de dépense.

Mais comme la propriété de tous les *minimum* est qu'en deçà et au delà on profite de presque tous leurs avantages, et que de légères déviations dans un certain ordre d'idées ou de calculs peuvent avoir des résultats très-importants dans un autre, c'est dans l'ensemble seul qu'on doit apprécier les avantages et inconvénients d'un grand tracé, et l'on peut alors ne pas tenir compte d'avantages et d'inconvénients *partiels*, qui ne seraient représentés que par des fractions très-petites de toute la masse.

Pour donner une idée des variations qui existent entre les nombres d'écluses, et par conséquent entre les hauteurs générales franchies et les longueurs de trajet dans les canaux à point de partage, on relatera les rapports moyens suivants :

| | | | kilom. |
|---|---|---|---|
| Canaux français. | Canal du Rhin | 1 écluse par | 1,40 de longueur. |
| | Canal du Midi | 1 | 3,05 |
| | Canal de Bourgogne | 1 | 1,26 |
| | Canal du Centre | 1 | 1,40 |
| | Canal de Saint-Quentin | 1 | 3,40 |
| | Canal de Berry | 1 | 2,06 |
| | Canal de Nivernais | 1 | 1,06 |
| | Canal du Haut-Rhin | 1 | 1,50 |
| | Canal d'Ille-et-Rance | 1 | 2,80 |
| | Canal du Rhône au Rhin | 1 | 2,10 |
| | Canal de Paris à Strasbourg, tracé par feu M. l'ingénieur Brisson | 1 | 2,55 |
| Canaux anglais. | De Grande Jonction | 1 | 1,04 |
| | Du Grand Tronc | 1 | 2,00 |
| | De la Tamise et de la Severn | 1 | 1,08 |
| | Leeds à Liverpool | 1 | 2,30 |
| | De Kennet et Avon | 1 | 1,18 |
| | De Rocdale | 1 | 0,52 |
| | De Forth et Clyde | 1 | 1,66 |
| | De Worcester en quelques parties | 1 | 0,90 |
| | Mersey à Irwell | 1 | 0,96 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | kilom. |
| Canaux américains. | De New-York | 1 écluse par | 7,00 de longueur. |
| | De la Chesapeak | 1 | 7,40 |
| | Canal projeté dans les Florides | 1 | 10,00 |

Quand on aura, pour un avant-tracé, marqué sur le terrain l'emplacement et la profondeur du point de partage, des réservoirs et rigoles alimentaires, la direction et la hauteur des deux branches du canal, on relèvera les plans et profils transversaux et longitudinaux, sur une largeur au moins double de celle de la ligne principale des opérations. On y relatera la circonscription des propriétés riveraines, et tous les documents qu'il aura été possible de recueillir sur la nature du terrain souterrain et sur la profondeur des eaux intérieures. Celle-ci sera constatée par les puits existants, ou au besoin par des sondages et même par des percements de puits d'essai. L'on procédera ensuite aux études circonstanciées relatives à l'égalisation des déblais et des remblais des divers biefs, aux emplacements, chutes, formes et dimensions des écluses et autres ouvrages d'art.

Ces études auront pour résultat souvent de rectifier les vues primitives, et de faire étudier de nouvelles lignes.

Les calculs de déblais et de remblais pour les canaux de navigation se font d'ailleurs d'après les règles indiquées à l'occasion des projets de route.

On renvoie, pour les études de détail des tracés et du mode d'exécution des canaux, aux ouvrages de Peyronnet, Gautbey, Hageau et Girard, de MM. Dutens et Devilliers, aux *Voyages dans la Grande-Bretagne* de M. le baron Dupin, à l'ouvrage de M. le major Poussin sur les canaux d'Amérique, à l'histoire du canal Calédonien, aux Mémoires déjà cités de M. le comte Pillet-Will, à ceux de M. Huerne de Pommeuse et d'une foule d'ingénieurs français et étrangers.

Pl. 81 et 82. Fig. 391. Les figures 391 des planches représentent les plans et coupes topographiques d'un grand nombre de canaux à point de partage en France et aux États-Unis.

*Ouvrages d'art de canaux de grande navigation.*

Réservoirs d'eau. Les réservoirs d'eau doivent être isolés des divers biefs, et même, quand cela est possible, des biefs de points de partage, pour qu'on puisse vider ceux-ci en cas de réparation. On consacre surtout à cette destination des étangs naturels. L'économie dans les dépenses premières est un avantage incontestable des *grands réservoirs artificiels*; mais, en cas d'accidents ou de réparations, le canal est forcé de chômer, tandis que le service de la navigation pourrait toujours se faire si l'on avait, au lieu d'un seul réservoir, plusieurs réservoirs de moyenne grandeur. Les sujétions de localités déterminent l'option pour l'un ou l'autre de ces systèmes.

Les réservoirs communiquent avec les biefs qu'ils doivent alimenter, soit par une conduite unique partant du point le plus bas du réservoir, soit par des conduites étagées

les unes au-dessus des autres, ayant des pentes de plus en plus fortes, et prenant l'eau à des points de plus en plus rapprochés du niveau permanent des eaux dans le réservoir. Par cette dernière disposition, on peut, à volonté, faire arriver plus ou moins rapidement de moindres ou de plus grandes quantités d'eau avec moins de sujétion dans la manœuvre des fermetures de ces conduits. Pl. 82. Fig. 392.

Quand les réservoirs ne sont pas des étangs naturels, on les établit ordinairement dans des vallons que l'on barre transversalement. On choisit des points où le terrain offre la solidité nécessaire pour l'assiette et l'enracinement du barrage dans les coteaux de rive, et où le barrage *ait le minimum de développement* relativement à la capacité de l'eau à soutenir. On a déjà dit quelles étaient les conditions auxquelles le niveau de l'eau, celui du fond du réservoir et les dimensions de ce dernier devaient satisfaire. Pl 82. Fig. 392.

Un réservoir artificiel se compose : 1° d'un barrage pourvu d'un moyen d'écoulement de l'eau, et muni *contre les vagues* d'un parapet saillant du côté de l'eau, de $0^m,65$ à $1^m,50$, suivant l'étendue du bassin et la direction des vents régnants ; 2° d'un déversoir de superficie qui empêche, surtout dans les temps d'orage, le niveau des eaux de s'élever au-dessus d'un repère déterminé ; 3° d'un aqueduc de fond pour débarrasser le réservoir des eaux troubles et le vider en cas de réparations ; 4° enfin, d'un avant-réservoir, où l'eau des rigoles alimentaires dépose ses troubles avant de s'épancher par déversement dans le réservoir proprement dit.

L'ouvrage capital d'un réservoir est le barrage. On en fait de trois espèces : 1° avec digue en terre revêtue, du côté de l'eau, et quelquefois aussi à l'extérieur, d'un perré à pierres sèches ou maçonné ; 2° avec massif de terre contenu entre deux murs à peu près verticaux ; 3° avec murs seulement. Ces barrages en plan peuvent être d'ailleurs posés sur une base curviligne convexe vers la retenue d'eau.

Il existe en France et en Angleterre des digues de 13 à 21 mètres de hauteur qui ont bien résisté ; d'autres, aux déversoirs du canal du Centre, ont été dégradées et même rompues, quoique revêtues en pierres.

Le grand empatement des digues en terre force de donner une grande longueur aux aqueducs d'évacuation, qui presque toujours, dans leur surface de contact avec la terre, sont des conducteurs pour les filtrations d'eau.

Le barrage du réservoir de Saint-Féréol au canal du Midi, celui de Conson au canal de Givors, enfin celui de Boulay sur le canal d'Ille-et-Rance, ont été faits avec terre entre deux ou trois murs verticaux. Le premier de ces barrages contient l'eau sur $32^m,40$ dans la partie la plus profonde du vallon. Mais d'une part les tassements inégaux de la terre et de la maçonnerie en déterminent les déliaisons, et d'autre part l'épaisseur qu'il faut donner au mur pour résister à la poussée des terres et surtout de la glaise gonflant par l'humidité, équivaut presque à celle d'un mur entièrement en maçonnerie. Ce dernier système paraît donc préférable, surtout si on l'exécute avec des matériaux de moyenne grosseur, en bon mortier hydraulique, et qu'on place un corroi de béton du côté de la retenue d'eau. Il a été suivi au réservoir de Lampy du canal du Midi, pour soutenir une Pl. 82. Fig. 393.

Pl. 83. Fig. 394. charge d'eau de $16^m,30$ : malgré les précautions prises dans sa construction, quelques filtrations se sont manifestées; elles ont été arrêtées par le moyen de 10 tonneaux de chaux vive réduite en laitance, et que l'on a versée à l'amont du mur.

Quel que soit le genre de construction du barrrage, il faut qu'il repose sur un sol qui n'éprouve pas de *tassements inégaux* et qui ne soit pas perméable; et pour satisfaire à cette condition on a, dans quelques barrages, enlevé jusqu'à 15 mètres de hauteur de gravier.

La base du barrage doit être *enracinée* dans le fond et sur les côtés, en creusant, de distance en distance, des encaissements, de manière à former des espèces de *tenons* qui ont en outre l'avantage de rompre le fil de l'eau.

Si le barrage est en digue de terre, on lui donne 4 à 5 mètres d'épaisseur au sommet, avec talus variant de $1^m,25$ à $2^m,50$ de base pour 1 de hauteur; il faut y employer de la terre glaise légèrement mêlée de sable, la mouiller un peu à chaque couche avec de la laitance de chaux, damer avec le plus grand soin par petites couches, mais avec des dames, pilons ou rouleaux *dentelés*, et élever rapidement pour que le dessus des couches n'ait pas le temps de durcir.

Les maçonneries des aqueducs qui traversent la digue devront présenter en plan des ressauts nombreux et très-saillants pour rompre le fil de l'eau.

Si l'on fait un barrage en maçonnerie, on peut, comme à Lampy, y établir des contreforts, moins pour diminuer l'épaisseur des murs que pour empêcher en plan la *forme de chaînette* que prennent beaucoup de maçonneries d'une grande longueur encastrées à leurs extrémités.

Le service ordinaire des eaux du bassin de Saint-Féréol se fait, pour les tranches supérieures d'eau, au moyen de vannes manœuvrées par des crics, placées, la première, à 2 mètres au-dessous de la surface des eaux du bassin, la deuxième, à 8 mètres au-dessous. L'écoulement des tranches inférieures s'opère au moyen de trois énormes robinets scellés par le bas. Enfin, les eaux troubles du fond s'évacuent par une vanne dont le seuil est placé au niveau du fond du ravin.

Pl. 83. Fig. 395. (margin note beside "dessous")

On renvoie, pour plus de détails, aux ouvrages publiés sur le canal du Midi, et surtout à un mémoire fort intéressant de M. l'ingénieur en chef Vallée, sur les réservoirs d'alimentation, et particulièrement sur ceux du canal du Centre. Ce mémoire est inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833.

Les déversoirs de règlement du niveau des eaux d'un réservoir ont une largeur de débouché qui dépend du volume des eaux extraordinaires dans les orages.

Il est de la plus haute importance que l'eau, après avoir passé par-dessus la crête du barrage, s'écoule par une pente douce jusqu'au fond de la vallée; car sa chute brusque sur une grande hauteur pourrait déterminer des dégradations dangereuses dans les revêtements, et des affouillements à leur pied.

L'établissement de l'avant-réservoir ne présente aucune difficulté. Afin d'être dispensé de le curer pour l'enlèvement des dépôts, il serait avantageux, quand les localités le

permettraient, d'avoir une communication directe de cet avant-réservoir avec la vallée, et d'évacuer les eaux après qu'on y aurait remis en suspension tous les dépôts par des *appareils agitateurs.*

Lorsque le point de partage d'un canal est à un col ou minimum de faîte, il y a quatre régions d'où il est possible de faire venir l'eau, d'après une remarque de MM. Brisson et Dupuis de Torcy : deux principales et deux secondaires. Elles sont circonscrites par deux plans verticaux qui se coupent au point minimum du faîte, et dont les traces sur un plan horizontal, passant par ce point, sont à peu près tangentes aux courbes horizontales d'intersection de ce même plan horizontal avec les reliefs avoisinants. **Rigoles d'alimentation.** Pl. 83. Fig. 595.

La section et la pente d'une rigole doivent être calculées d'après les formules dues à M. de Prony; mais pour la pente on reste ordinairement entre les limites de $0^m,10$ à $0^m,50$ par kilomètre. Toutefois on n'a donné que $0^m,07$ pour 1000 mèt. à la rigole de Courpalet du canal d'Orléans, qui présentait des sujétions spéciales par le peu d'élévation des sources au-dessus du bief de partage, et par le grand développement de la conduite d'eau. Aux canaux du Centre et de Briare, on s'est réglé sur $0^m,10$ à $0^m,12$ par 1000 mètres. La rigole de Saint-Féréol a une pente surabondante de $0^m,88$ par 1000 mèt.; on a été chercher l'eau dans des points trop élevés, pauvres en sources; on a été ainsi forcé de traverser des terrains très-accidentés et qui ne gardent pas l'eau.

A cube égal d'eau, une pente trop faible exige une section considérable ; l'eau se perd par les évaporations, les filtrations, et le fond s'exhausse par les atterrissements. Une pente trop forte peut déterminer des érosions dans les parois, et apporter des eaux troubles dans les biefs ou réservoirs; de plus, elle va couper les ruisseaux alimentaires trop en amont, là où il y a le moins d'eau, et quelquefois au-dessus d'usines importantes.

Quand les rigoles d'alimentation doivent servir à la fois à la navigation, les dimensions de leur section dépendent des conditions de cette navigation, et la pente doit être réglée de manière que la vitesse ne dépasse pas $0^m,35$ par seconde.

La construction des rigoles exige les mêmes soins que celle des biefs ; comme pour ceux-ci, on peut avoir à faire des remblais élevés, des tranchées profondes et des passages souterrains.

On place sur les rives des rigoles, des déversoirs de surface et des épanchoirs de fond, pour empêcher les eaux de dépasser leur niveau régulier, et pouvoir mettre les rigoles à sec en cas de réparation, soit des réservoirs, soit des rigoles elles-mêmes. Quand ces dernières s'appuient contre un coteau, on établit également de ce côté des contre-fossés ou de petits étangs, dans lesquels les eaux sauvages déposent leurs troubles avant d'entrer dans les rigoles par déversement.

Un bief de navigation comprend la voie d'eau, les banquettes riveraines, les chemins de halage et les contre-fossés. **Des biefs de navigation.**

La section longitudinale d'un canal à eau stagnante est de niveau généralement. Cependant il y a quelques avantages à lui donner une légère pente, pour assécher complètement les biefs en cas de réparation. La section transversale devrait être telle, que la

résistance de l'eau fût un minimum : Bossut, Condorcet, Dubuat ont fait beaucoup d'expériences à ce sujet. Dubuat avait donné la formule :

$$R = r \frac{8,4}{\frac{S}{S'} + 2}$$

où R est la résistance dans un canal, $r$ celle dans un fluide indéfini, S et S' les sections transversales du canal et du bateau ; formule qui, pour l'égalité de R et de $r$, exigerait que S fût environ sextuple de S'.

La largeur du plafond d'un canal est aujourd'hui réglée généralement à deux fois celle des bateaux, plus un jeu de 15 à 20 centimètres lorsque les parois du canal sont à talus très-roides ou verticales. Toutefois, sur les biefs inférieurs d'une navigation où la circulation est souvent beaucoup plus active, on peut être forcé de donner au plafond du canal au moins trois fois la largeur des bateaux. La même règle s'applique à tout ou partie de la longueur de ceux des biefs où les mariniers séjournent ordinairement, et qui forment ainsi gares de stationnement.

Lorsque l'encaissement d'une vallée, de grandes tranchées à faire déterminent à restreindre la largeur du canal à celle d'un seul bateau, l'on a soin, aux deux têtes de ces rétrécissements, d'avoir des gares de stationnement sur une des rives du canal, ou d'élargir symétriquement ce dernier ; la longueur de ces gares ou élargissements dépend de l'activité présumée de la navigation. On a recours aussi à ces élargissements dans les raccordements brusques et dans les changements d'alignements.

La profondeur d'eau des biefs doit excéder d'au moins 30 à 40 centimètres le tirant d'eau maximum des bateaux, d'abord à cause des atterrissements ou des troubles qu'on aurait à faire déposer dans les biefs pour arrêter les filtrations ; puis à cause des plantes qui croissent au fond du canal ; enfin pour qu'on puisse retirer au moins *une éclusée d'eau* par bateau sans mettre les écluses à des distances très-considérables ou sans entraver la navigation. Un élargissement ou un approfondissement dans le bief satisferait aussi à cette dernière condition.

La forme évasée des bateaux dans leur section transversale a fait adopter pour les parois montantes des deux rives d'un canal des lignes inclinées, dont la pente dépend du genre de construction de ces parois, ou, si elles sont en terre, de leur plus ou moins grande consistance. Si les biefs ne devaient jamais être mis à sec, la partie inférieure constamment immergée des parois pourrait être beaucoup plus roide que la partie émergée. Au reste, la hauteur des talus ne saurait être moins des deux tiers de la base, et peut aller jusqu'à 3 pour 1.

On a remarqué que le choc des bateaux, le batillage des eaux, l'action des glaces,
Pl. 85. Fig. 396. dégradaient beaucoup la zone des parois montantes qui correspondait au niveau de l'eau ; et, pour y remédier, on a quelquefois projeté à cette hauteur une petite banquette hori-

zontale de 50 à 60 centimètres (qui a été portée à 1 mètre dans le canal Calédonien), qu'on a eu soin d'ensemencer d'iris, de roseaux et antres plantes aquatiques.

Le chemin de halage doit être établi le plus près possible des rives dù canal, et à une bauteur telle, que la corde de balage soit presqne borizontale, afin d'éviter les pertes de force par l'obliquité dans les deux sens. Mais, d'un autre côté, il faut mettre le cbemin à l'abri des ondes, qui peuvent être d'autant plus fortes qne le bief est plus large et plus exposé aux vents régnants : on est convenu de rester, pour la bautenr du cbemin de halage, au-dessus du niveau maximum des eaux, entre les limites $0^m,50$ et $1^m,50$. Chemins de halage et marchepied.

La largeur du chemin de halage, pour des bommes, pourrait être réduite à 2 mèt. ou $1^m,50$, et, pour des chevaux qui se croisent, à 5 mèt. et même à 4 mèt. comme aux canaux des États-Unis. Quelquefois ont est forcé d'avoir des cbemins de balage des deux côtés du canal, entre autres lorsqne les vents réguants se joignent à l'action du halage pour affaler le bateau sur l'une des rives. Quand ce chemin n'existe que sur l'une des rives, il y a, comme dans les rivières, sur l'autre rive un marchepied de $1^m,50$ à 2 mèt. Au reste, si le terrain snperficiel n'est pas coûteux et qu'on ait beaucoup de déblais disponibles, on élargit le marchepied et le cbemin de halage au delà des dimensions qu'on vient d'indiquer.

Quand le cbemin de halage on le marchepied est en déblais, le soutènement qui s'élève sur la rive extérieure est, suivant la hanteur, la nature des terres et le mode de revêtement, taillé en gradins plus ou moins rapprochés, ou en grands talus dressés suivant une seule pente. Pl. 83. Fig. 397.

Quand le cbemin de halage ou le marchepied est en remblais, son talus extérieur varie également suivant la nature des terres et le mode de revêtement des parois. Enfin, quand le canal suit les bords d'une rivière sujette à des crues et doit rester inanbmersible, il convient d'établir entre les deux une contre-digue, dont les talus, du côté de la rivière, sont alors préservés des érosions, des chocs de glaces et de corps flottants par des revêtements solides. Les figures 399 des planches indiquent les profils de divers canaux de France et de l'étranger. Pl. 83. Fig. 398. Pl. 83. Fig. 399.

Lorsque les déblais d'un canal excèdent les remblais à faire, il faut ici, comme dans les routes, retrousser l'excédant et former des *cavaliers* ou amas de terre réguliers aur des lignes parallèles au canal, et en arrière des chemius de halage et des talua des tranchées. On les écarte du bord supérieur de ces talus par une banquette d'au moins 2 mètres, afin que le poids des terres du *cavalier* ne fasse point fluer celles dn talus en question. La position et la forme de ces *cavaliers* est réglée de manière à enlever le moins possible de terrain utile à l'agriculture, et à occasionner le minimnm de dépense. M. l'ingénieur de Bormans a présenté une solution de ce problème dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836. Cavaliers des remblais. Pl. 83. Fig. 400.

Des contre-fossés sont utiles sur les rives extrêmes d'un canal pour en former la limite, pour recevoir du côté des coteaux les eaux sauvages chargées de troubles, et les introdnire dans le canal quand elles se sont clarifiées, enfin pour recueillir les eaux de Contre-fossés. Pl. 83. Fig. 401.

filtration du canal au pied des talus des remblais et les empêcher de se répandre au delà.

Plantations. Les plantations d'arbres en dehors du passage des cordes de halage sont toujours agréables et souvent utiles ; cependant il ne faudrait pas les établir trop près des bords du canal, de peur que les racines ne devinssent une cause de filtration, surtout quand, les arbres étant coupés, leurs troncs restés en terre viendraient à pourrir. Lorsque le canal est en remblais et exposé au vent, celui-ci en agissant sur la cime des arbres peut aussi causer des disjonctions de terres à leur pied. Il faut éviter en général les arbres à racines profondes, et préférer ceux dont les racines s'épanouissent beaucoup à la surface du sol, et dont les branches au contraire s'épanouissent peu.

Les plantations d'osier, les semis de plantes fourragères à racines superficielles soutiennent les *talus*, diminuent l'évaporation et surtout forment un réseau qui retient les terres.

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-HUITIÈME LEÇON.

REMBLAIS. — DÉBLAIS. — TRANCHÉES ET SOUTERRAINS. — ÉCLUSES A SAS ISOLÉS ET ACCOLÉS. — MOYENS D'INTRODUCTION D'EAU DANS LES SAS.

L'exécution des remblais et déblais, surtout sur des hauteurs considérables, exige dans les canaux bien plus de précautions encore que pour les routes ordinaires et pour les chemins de fer.

Remblais. Les tassements des remblais d'un canal ouvriraient en effet de larges fissures à l'eau, par lesquelles elle se répandrait dans tous les terrains inférieurs et pourrait causer des pertes énormes à l'agriculture, indépendamment des chômages dans la navigation. Le simple glissement des talus extérieurs des remblais n'aurait pas immédiatement des conséquences aussi graves, mais elles viendraient à la longue.

Ainsi il faut ici, comme dans les remblais de routes et de chemins de fer, enlever soigneusement les premières couches de gazon et de plantes dans l'emplacement de la base du remblai, puis enraciner en quelque sorte ce dernier dans le sol. Le remblai doit être formé en terre argileuse du côté de la rive d'eau du canal, et en fortes pierrailles du côté du talus extérieur. Les couches, de 16 à 20 centimètres d'épaisseur, doivent être légèrement mouillées et damées fortement, soit par le roulage des terres, soit par des pilons ou des rouleaux *dentelés*, qui sillonnent chaque couche damée avant d'en

appliquer une nouvelle, et assurent ainsi leur liaison mutuelle. Quand on sera rendu à la cunette des eaux du canal, on s'arrêtera pour laisser le tassement s'opérer avant d'exécuter cette dernière partie du travail. Il est avantageux, en conséquence, de commencer les travaux d'un canal par les grands remblais.

Les talus extérieurs peuvent être disposés sur un seul plan incliné ou par gradins ; ce dernier moyen morcèle les avaries, se prête à l'établissement de clayonnages de retenue des terres, de semis et de plantations. Si, à raison de la nature des terres, de la roideur obligatoire des talus, du voisinage des crues d'une rivière, l'on juge nécessaire de revêtir le talus en pierres, on fera bien de consulter, sur le mode de construction des perrés par compartiments indépendants, le mémoire déjà souvent cité de M. l'ingénieur en chef Vallée, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées de* 1833. Pl. 83. Fig. 402.

Lorsque le terrain manque pour établir un remblai avec talus naturel des terres, on est forcé de soutenir le canal, du côté de la vallée, par des murs en pierres sèches ou avec mortier. Dans ce dernier cas, il faut y établir un corroi en béton du côté de la cunette du canal, et à peu près sur toute la profondeur de cette cunette, à moins qu'elle ne soit elle-même enveloppée par un corroi de ce genre ou par un corroi en terre glaise. Pl. 83. Fig. 398 et Pl. 84. Fig. 403.

Si le talus extérieur d'un remblai est baigné par les eaux d'un étang ou d'une rivière, toute la partie immergée doit être revêtue ou d'un mur ou d'un perré en maçonnerie avec corroi en béton sur les derrières, pour que les terres du remblai ne soient pas détrempées, et ne puissent en fluant déterminer des tassements et des fissures dans le haut.

Les canaux anglais présentent un grand nombre de remblais très-élevés. Une partie de 500 mètres de longueur, du canal de Worcester, est sur un remblai de 20 mètres de haut.

Les abords de l'aqueduc du Pontcisilty, sur 600 mètres de longueur, présentent 35 mètres de hauteur. La largeur des remblais au sommet y est de 13 mètres, et d'environ 100 mètres à la base.

**Grandes tranchées en déblais.**

Les grandes tranchées en déblais ne présentent pas moins de difficultés et de dépenses que les remblais. On en a fait mention à l'occasion de l'exécution des routes, et lorsqu'il a été question de la direction à donner aux branches d'un canal. Les figures 404 des planches indiquent les éboulements arrivés au canal d'Ille-et-Rance et à celui de l'Ourcq, avec les moyens qui avaient été proposés ou employés pour y remédier. Pl. 84. Fig. 404.

Si le terrain à déblayer est en rocher, il faudra avoir soin, quand on sera arrivé au niveau du dessous de la cuvette d'eau du canal, de n'employer la mine qu'avec circonspection, afin de ne pas ouvrir des fissures, par lesquelles l'eau s'échapperait.

Si le rocher est schisteux et susceptible de se décomposer à l'air, il paraît convenable de tailler en gradins les talus de la tranchée, de les couvrir de terre végétale ou de gazons, et d'y faire développer des plantes à racines superficielles.

On a déjà dit, dans la 16e leçon, que dans les terrains formés de couches d'argile en pente, entremêlées de couches de sable, il fallait, par des piquetages, clouer en quelque

sorte les diverses couches les unes sur les autres; mais ce moyen n'est guère praticable si le banc incliné est très-profond ; il sera préférable alors de chercher à dévier les eaux intérieures qui, en s'échappant par les lits des couches, hâteraient le glissement. Pl. 84. Fig. 405. Ce même procédé est le seul praticable pour des terrains marécageux, mouvants ou boulants. Il faut alors rechercher le point de départ des eaux, et par des aqueducs à pierres sèches, par des caniveaux en bois ou des pierrées, les éconduire Pl. 84. Fig. 404. loin de la tranchée sur des terrains plus bas qu'elle. Ce moyen a réussi au canal de l'Ourcq, où la tranchée s'effectuait dans un sol formé de couches de sable et d'argile.

L'argile, par ses alternatives de retraits et de gonflements avec la sécheresse et l'humidité; le sable, par sa mobilité quand il est très-sec ou très-mouillé, ont également besoin d'être mis à l'abri des vicissitudes atmosphériques.

La taille des talus en gradins avec gazonnages, ou l'établissement de perrés en pierres sèches, est donc nécessaire, indépendamment de la déviation des eaux souterraines. Des revêtements en terre glaise ou des perrés maçonnés sont également nécessaires aux parois de la cunette, si elle est établie dans une couche de sable ou de gravier. On a pris ce parti aux États-Unis sur toute la longueur de 22$^{kil.}$, 40 du canal de la Chesapeak à la Delaware.

Pour les tranchées marécageuses ou tourbeuses, dans lesquelles, au fur et à mesure des travaux; le fond se relève par la charge des rives, on a dit, à l'article *Routes*, le petit nombre de moyens d'art dispendieux qu'on pourrait employer.

Pl. 84. Fig. 406. En Angleterre, dans des travaux de ce genre, on a dressé les rives transversalement en pentes très-allongées, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 406 des planches; de plus, on a établi des fossés parallèlement et transversalement à la tranchée.

Aux États-Unis d'Amérique, pour le canal de la Nouvelle-Orléans, on avait projeté de revêtir en bois toutes les parties du canal. Ce moyen est fort coûteux.

L'expérience ayant appris que beaucoup de gonflements du fond des tranchées et d'éboulés latéraux cessaient quand l'eau était introduite dans les biefs, il serait probablement possible de les prévenir en effectuant des tranchées *par zones très-étroites*, qu'on remplirait immédiatement d'eau; ces zones seraient séparées les unes des autres par des bandes de terrain qu'on enlèverait ultérieurement. On recourrait au besoin à des machines à draguer pour toute la partie inférieure de ces bandes qui serait au-dessous du niveau de l'eau des zones.

Au canal Saint-Maur, pour éviter les éboulements des talus de grandes tranchées Pl. 84. Fig. 407. permanentes et l'achat de terrains pour l'emplacement des cavaliers, l'on a effectué une coupure pour la construction d'un souterrain voûté, puis on rechargé les produits des déblais primitifs sur cette voûte et contre ses piédroits.

L'économie des déblais dans les grandes tranchées fait réduire la banquette de halage à 2 mètres, et le marchepied à 1$^{m}$,50.

L'extraction et le transport des déblais aux remblais s'exécutent du reste dans les canaux, comme il a été dit pour les routes, par chemins horizontaux ou inclinés, en

terre, bois ou fer, et à l'aide de brouettes, de camions, de tombereaux ou de machines à ascension verticale, tels que les *bourriquets* et autres.

Des souterrains.

Les difficultés des grandes tranchées et leurs dépenses, la masse énorme des déblais qu'elles donnent et qu'il faut élever à une grande hauteur pour les retrousser en cavaliers, les énormes agglomérations d'ouvriers ou de chevaux qu'elles exigent, leur font généralement préférer les percements en souterrains, dès que la profondeur dépasse 16 mètres; toutefois ce chiffre limite suppose que le souterrain sera restreint au passage d'un seul bateau, n'aura pas besoin d'être voûté, ou qu'il sera assez long pour que la dépense des maçonneries ne soit qu'une faible partie de la dépense totale.

Une tranchée pourrait être également réduite à la largeur d'un bateau pour la cuvette du canal; mais l'économie que l'on se procurerait ainsi serait d'autant moins importante que la profondeur augmenterait, puisqu'elle ne croîtrait qu'*en simple raison de la profondeur*, tandis que les déblais latéraux pour les talus croîtraient en *raison des carrés* des mêmes profondeurs.

Le rétrécissement d'un souterrain, au passage d'un seul bateau, est au contraire une économie considérable dans la dépense d'un souterrain, parce que le volume de déblais qui y correspond est une forte partie de la masse totale; que plus le souterrain sera large, plus il sera difficile de le percer, de se passer de voûtes, et plus ces voûtes seront dispendieuses. Toutefois il faut convenir que, sous le rapport de la navigation, un souterrain étroit oppose une grande résistance au mouvement des bateaux, et par l'eau et par l'air; le trajet en est lent et pénible, et c'est une véritable entrave à la circulation générale. On a évalué, aux États-Unis, à 4 heures le temps que mettrait un convoi de 30 bateaux à parcourir les 9000 mètres du bief de partage avec souterrain de 6700 mètres que l'on trouve au canal de la Chesapeak à l'Ohio.

Aussi sur quelques canaux anglais, et notamment sur ceux de la Tamise et de la Severn, une galerie revêtue en maçonnerie de 3932 mètres de longueur a été ouverte sur $13^m,72$ de largeur.

On donne à la cunette d'un canal, dans un souterrain, de $0^m30$ à $0^m,60$ de jeu total pour le passage des bateaux. Au canal Saint-Quentin, il y a deux banquettes de halage de $1^m,20$; mais on préfère n'en avoir qu'une seule de $2^m,20$ environ, ayant la largeur des deux. On hale ordinairement avec des hommes dans les souterrains : si l'on employait des chevaux, il faudrait plus de largeur à la banquette et un parapet du côté de l'eau. On peut aussi se servir d'une corde de halage fixée à l'une des extrémités du souterrain et touée par le batelier lui-même. Enfin, on peut placer, à l'entrée des souterrains, des machines de traction mues diversement : dans ces deux derniers cas, on est dispensé des banquettes.

La hauteur du passage souterrain au-dessus du niveau de l'eau, dans les canaux existants, varie de $3^m,30$ à $4^m,60$ pour les bateaux *non mâtés*.

Aux États-Unis, pour des bateaux allant à la voile sur le canal de la Chesapeak à l'Ohio, on a mis le sommet de la voûte des souterrains à $5^m,10$ au-dessus du niveau de l'eau.

La forme de la voûte, au-dessus du même niveau, est tantôt ogive ou elliptique, tantôt ovale en forme de poire. Souvent elle présente deux parois verticales ou inclinées,
Pl. 84 et 85. Fig. 108. rejointes par des voûtes en plein cintre, elliptiques ou ogives. Ces trois dernières formes semblent le mieux convenir lorsque le souterrain n'est pas voûté. Mais ce cas est très-rare, et dans presque tous les souterrains l'on a été obligé de revêtir en bois ou en maçonnerie. La maçonnerie a été préférée généralement au bois, à cause du prompt dépérissement de celui-ci dans des galeries souterraines.

Dans le cas de *parois en maçonnerie*, l'on donne ordinairement à toute la section depuis le radier, soit la forme elliptique à grand axe vertical, soit celle de piédroits verticaux avec plein cintre; mais on dispose toujours le radier de la cuvette en voûte renversée.

L'épaisseur de la voûte et celle des piédroits dépendent de la forme de la section de la voûte, des matériaux employés, des mortiers dont on dispose, et surtout de la nature des terres à soutenir et des charges d'eau *qui pèsent* sur les sources et filtrations.

L'emploi des pierres de taille ne convient guère aux zones intérieures des souterrains, parce que l'espace, la clarté, le temps manquent à la fois pour exécuter ce genre de maçonnerie avec la précision qu'il requiert. Des maçonneries de petits matériaux de moellons, briques, et même de béton, conviennent beaucoup mieux.

Il faudra, d'ailleurs, en contre-haut du niveau de l'eau, ménager une multitude de créneaux pour faire affluer les sources dans le canal.

Les souterrains existants sont revêtus en moellons ou en briques (souvent moulées *ab hoc*) et avec mortier hydraulique; les épaisseurs des piédroits et voûtes ont varié depuis 40 centim. jusqu'à 1 mètre et même $1^m,40$.

Le prix des souterrains construits est compris entre des chiffres extrêmes très-distants.

| | |
|---|---|
| Au chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne, un souterrain de 1500 à 1800 mètres de longueur, de 5 mètres sur $5^m,10$ de section, est ressorti, le mètre courant, à | 900 fr. |
| Le grand souterrain du canal Saint-Quentin, à | 1,000 |
| Celui de Pouilly sur le canal de Bourgogne, à | 2,000 |
| Celui du canal du Nivernais, à | 2,350 |
| Le souterrain de 6700 mètres de longueur du canal de la Chesapeak à l'Ohio (États-Unis d'Amérique) | 2,650 |
| Celui du canal du Grand Tronc en Angleterre | 1,100 |

On a cité le souterrain de 3930 mètres de longueur, creusé à 72 mètres sous le point culminant du terrain, au canal de la Tamise et de la Severn en Angleterre, où le mètre cube d'excavation dans le roc est ressorti à 276 fr.

Les têtes ou entrées des souterrains doivent être en maçonnerie, à moins que, par des circonstances fort rares, le rocher puisse en tenir lieu. Tantôt les maçonneries s'arrêtent à la hauteur des voûtes, et le surplus de la hauteur totale jusqu'au faîte du terrain pri-

mitif est abandonné à lui-même ou dressé en talus; tantôt ces maçonneries s'élèvent sur toute la hauteur, afin d'empêcher des éboulis qui viendraient obstruer l'entrée et occasionner des avaries graves aux embarcations.

Dans l'assiette d'un souterrain, il est beaucoup plus important d'éviter les longues tranchées à ses abords *que de le raccourcir lui-même;* il vaut mieux aussi le placer au-dessus du fond d'une vallée que dans ce fond, pour éviter, d'une part, les eaux de la vallée pendant l'exécution, et, de l'autre, pour pouvoir y rejeter toutes celles qu'on rencontrerait.

**Mode d'exécution des souterrains sans le secours des puits.**

Le mode d'exécution le plus simple d'un souterrain est évidemment de ne pas recourir à des points intermédiaires, et de pénétrer par les deux têtes en *cheminant vers le milieu de la longueur*. Ce moyen convient à toute espèce de terrains, puisque chaque partie exécutée sert d'abri aux ouvriers pour avancer, et que, s'il y a des eaux intérieures, elles s'écoulent vers les têtes. Le bouclier imaginé par le célèbre Brunel pourvoit à tous les accidents qui peuvent se présenter dans cette marche du travail. Mais on peut atteindre à peu près le même but dans les plus mauvais terrains par des séries *de galeries étagées*. Chacune est percée alors à l'aide de cadres de *blindage* en bois, servant en même temps de cintres pour les maçonneries de revêtement. Pl. 85. Fig 409.

Ces cadres grossièrement assemblés, qui sont usités dans les travaux souterrains des mines, et décrits dans les ouvrages relatifs à l'exploitation des mines, ne peuvent avoir guère plus de 2$^{m}$,50 de largeur d'un côté à l'autre, et une longueur de plus de 1$^{m}$,50. On chasse, entre leur pourtour et le terrain à creuser, des morceaux de bois équidistants qui soutiennent ce dernier pendant qu'on vide l'intérieur du cadre : ces morceaux de bois dépassent les cadres et sont en surplomb; et quand on a enlevé le terrain qu'ils circonscrivent, on place un cadre nouveau. Pl. 85. Fig 410.

L'on peut donc percer ainsi deux galeries latérales dans les deux rives du souterrain et dans l'emplacement des piédroits, et effectuer immédiatement la maçonnerie des piédroits en partant du milieu et rétrogradant vers les têtes. L'on enlève les cadres de blindage au fur et à mesure de l'exécution de chaque zone de maçonnerie, et on remplace les vides que laisse le bois du côté du souterrain par des remblais en terre ou pierres sèches. Au-dessus de la partie exécutée des piédroits, l'on creuse une nouvelle galerie avec les bois de blindage de la précédente, et l'on élève une nouvelle portion de piédroits ou de bandeaux de voûte. Lorsqu'on est arrivé aux parties de la voûte qui ne peuvent se soutenir elles-mêmes, le bas des galeries correspond à l'intrados de la voûte, en sorte que les maçonneries de cette dernière sont portées par la terre elle-même. Par ce procédé, M. l'ingénieur en chef Minard est parvenu en cinq mois à exécuter au canal de Saint-Quentin une zone de maçonnerie de 22 mètres de longueur, dans un point où il y avait eu des *fondis* (éboulis verticaux avec entonnoirs dans le haut). Il est évident d'ailleurs que ce travail par parties peut être également pratiqué dans les souterrains résistants où les petites galeries auxiliaires n'auraient pas besoin d'être blindées, et où l'on voudrait seulement économiser les cintres de la voûte principale : c'est ce qui a été fait pour le Pl. 85. Fig 411.

souterrain du chemin de fer de Paris à Saint-Germain, qui a été exécuté sous des maisons d'habitation de plusieurs étages de la commune des Batignolles.

Si, par suite de la nature du terrain ou de toute autre cause, on était forcé d'exécuter d'abord la voûte d'un souterrain en maçonnerie avant les piédroits, il y aurait ensuite à bâtir ceux-ci en *sous-œuvre par parties*. Ce travail pourrait toujours être fait en n'enlevant d'abord que le massif qui servait de cintre à la voûte, puis en faisant successivement dans le terrain en contre-bas, et jusqu'au niveau de la fondation des piédroits, des tranchées blindées au besoin latéralement, qui auraient de 0m,50 à 1m,50 de largeur suivant

Pl. 85. Fig. 412. la nature du terrain, l'âge et la résistance des maçonneries de la voûte. Ces tranchées aboutiraient à l'extrados des piédroits et donneraient ainsi la faculté d'exécuter une longueur de piédroits suivant l'axe du souterrain, de 0m,50 à 1m,50 ; après quoi, par de nouvelles tranchées intermédiaires aux premières, on multiplierait et rapprocherait de plus en plus ces espèces de *piliers*, qui bientôt ne formeraient plus qu'une masse continue. Par cet ordre de travail, les tassements brusques seraient évités et le champ des avaries possibles serait resserré.

Ces travaux par parties n'ont sans doute pas une grande régularité; mais si l'on tenait à l'obtenir, il suffirait de faire d'abord de cette manière une enveloppe extrados concentrique, en dedans de laquelle on ferait ensuite construire le revêtement régulier de l'enveloppe apparente à l'intrados.

**Des souterrains avec puits.**

Le percement d'un souterrain seulement par les deux têtes serait une opération extrêmement longue, dès que l'intervalle entre ces têtes serait de plus de 200 à 300 mètres, et la mise en service d'un canal, l'intérêt des capitaux employés en souffriraient. On a recours, en conséquence, à des puits d'exploitation plus ou moins rapprochés, depuis 40 mètres jusqu'à 200 mètres d'intervalle. Ces intervalles ont été de 100 mètres au canal Saint-Quentin et de 60 mètres à celui de Bourgogne. Ils dépendent de l'activité qu'on veut imprimer aux travaux, de la dureté du terrain, des quantités de déblais et d'eau à retirer par les puits, enfin de la force motrice qu'on doit appliquer à l'élévation des terres et des eaux. Les *Annales des ponts et chaussées* de 1833 contiennent un article intéressant de M. l'ingénieur Thirion, sur l'espacement, les formes et les dimensions des puits.

Pl. 85. Fig. 413. La figure 413 des planches indique la coupe longitudinale du grand souterrain exécuté en Angleterre, au canal de la Tamise et de la Medway. Les puits y sont placés dans l'axe de la voûte.

Des puits sont nécessaires aussi à l'aérage, et cette destination restreint à 100 mètres l'espacement, sinon des puits d'exploitation, au moins de ceux de ventilation.

Les puits peuvent être placés ou dans l'axe du souterrain, ou dans l'alignement des parements des piédroits de la voûte, ou à 4 et 5 mètres en arrière. La première position convient aux souterrains résistants ; la seconde est préférable pour les mauvais terrains, parce que s'il y avait des éboulis dans les puits, ils ne compromettraient ni les ouvriers ni la marche des travaux. Quand on les place sur le côté, on les met en communication

avec les galeries longitudinales de percement par de petites galeries transversales.

Si l'on se sert de manéges ou de machines à vapeur pour élever les matériaux et l'eau, il faudra que les puits, éloignés à grande distance, soient alors plus grands et aient l'équivalent de 4 à 5 mètres en carré. Si des hommes appliqués à des treuils ou cabestans sont le moteur employé, les puits plus rapprochés auront besoin de moins de débouché, et il suffira de leur donner l'équivalent de $2^m,50$ en carré. Même au souterrain de 6700 mètres du canal de la Chesapeak à l'Ohio, ils ont été réduits à $1^m,90$ en carré.

La forme de section la plus convenable pour la résistance serait la forme cintrée, mais elle se prêterait mal au passage des caisses, hottes et autres agrès : on lui préfère une forme elliptique et même rectangulaire.

Les revêtements des puits, dans les terrains susceptibles d'être coupés verticalement, peuvent être en bois ou en maçonnerie. Les premiers, qui pourrissent en peu d'années, ne conviennent que pour un travail d'une durée assez courte pour qu'on soit dispensé de les renouveler. Les seconds s'exécutent souvent en briques, pour hâter le travail et pouvoir réduire à 40 centimètres l'épaisseur de l'enveloppe. On sait que pour les grands puits circulaires de descente du tunnel sous la Tamise, où l'on avait à traverser un terrain homogène de glaise, de tourbe et de sable, M. Brunel a établi sur le terrain une plate-forme de fondation en bois, armée en dessous d'une pièce tranchante en fonte de fer. Il a élevé ensuite jusqu'à 12 mètres hors de terre la maçonnerie d'enveloppe, dont le poids déterminait l'enfoncement progressif au fur et à mesure qu'on enlevait les terres à l'intérieur. Ce moyen pourrait être employé pour une série de cadres en bois, bordés extérieurement et superposés, et où l'on suppléerait par le battage d'une sonnette au poids qui dans le système de M. Brunel détermine l'enfoncement. Mode d'exécution des puits.

Mais ce procédé ne serait plus applicable à un terrain hétérogène qui offrirait des parties très-résistantes : alors on est forcé de percer le puits par tranchées, qu'on garnit successivement de cadres en bois. Si l'on rencontre du sable boulant ou des terres fluentes, on forme une enceinte en palplanches battues à la masse autour de chaque tranchée à déblayer. Pl. 85. Fig. 414.

Le percement des puits ne peut admettre qu'un très-petit nombre d'ouvriers dans une position gênée, et souvent rendue très-pénible par l'affluence des eaux de filtration ; on oppose à ces difficultés la non-interruption du travail jour et nuit et à l'aide de relais d'hommes.

Les appareils d'épuisement de l'eau des puits doivent satisfaire à plusieurs conditions très-sujettives ; il faut qu'ils occupent peu de place, qu'ils puissent *s'allonger* au fur et à mesure de l'avancement du travail, fonctionner malgré l'augmentation progressive de hauteur, et qu'ils puissent être multipliés ou renforcés si la quantité d'eau devenait croissante. Les chapelets verticaux, les pompes aspirantes avec tuyaux en cuir et ressorts à boudin à l'intérieur satisfont à peu près à ces conditions.

Tontefois, l'abondance des eaux dans les percements des puits prédomine souvent sur les moyens d'épuisement. L'on ne réussit pas toujours à étancher les voies d'eau laté-

rales à l'aide d'étoupe, de mousse, de plâtre-ciment ou de corrois en béton. Il n'y a plus alors d'autre ressource que de pratiquer, par l'une des têtes du souterrain, une petite galerie qui arrive jusqu'au point de la profondenr du puits où l'on a été forcé de s'arrêter; elle sert alors à évacuer les eaux. Cette galerie, approfondie au besoin ultérieurement, est utilisée alors aussi pour évacner les eaux de la fouille même dn souterrain.

Pl. 85. Fig. 15. Il peut même arriver que ce moyen soit moins dispendieux que d'élever les eaux par les puits *à une grande hauteur*.

An grand souterrain du canal de la Chesapeak à l'Ohio, déjà mentionné, l'on a construit une galerie latérale d'épuisement de 0m,91 de large sur 2 mètres de haut.

Les puits étant rendus à la profondenr voulue, on perce, en les blindant au besoin, les petites galeries transversales qui doivent les mettre en communication avec le souterrain.

Percement du souterrain dans les intervalles entre les puits.

Si le terrain du souterrain est résistant et n'a pas besoin d'enveloppe en maçonnerie, on l'attaque au pic ou à la mine, par les deux extrémités de chaque intervalle d'un puits à l'autre.

Si, quoique susceptible de résister pendant quelques mois ou quelques semaines, le terrain exige une enveloppe en maçonnerie permanente, on effectue la maçonnerie en entier par zones ou bandeaux dans le sens de l'axe du souterrain, et au fur et à mesure

Pl. 85. Fig. 416. que les déblais sont terminés, en épontillant toujours par précaution en avant du travail. Ces zones ont évidemment d'autant moins de longueur dans le sens de l'axe du souterrain, que le terrain est moins susceptible de se porter lui-même.

Si l'on craint que ce mode ne laisse encore trop de chances d'accidents, on exécute d'abord seulement les piédroits des deux rives dans tous les intervalles du souterrain

Pl. 85. Fig. 417. compris entre deux puits consécutifs, et à l'aide de galeries blindées au besoin; cela fait, on creuse, à partir de la tête de chaeun de ces intervalles, une tranchée de 1 à 2 mètres de largeur, et de la profondeur suffisante pour faire sur cintre un bandeau de la voûte de cette dimension; cette zone effectuée, on passe à une suivante, et les maçons, venant

Pl. 85. Fig. 418. ainsi des deux têtes de chaque intervalle du puits, se rencontrent au milieu. La fig. 418 des planches indique les précautions prises dans certaines zones du canal souterrain de la Tamise et de la Medway.

Enfin, si le terrain était tellement mauvais que ce dernier mode présentât encore des risques, on emploierait ceux qu'on a déjà indiqués en parlant des percements par les deux têtes *sans le secours des puits*.

Si les souterrains construits éprouvaient des éboulis, il serait préférable de les remplir tout à fait par le haut, d'en éloigner les eaux pluviales, puis d'effectuer le travail par les galeries blindées et étagées qui ont été mentionnées ci-dessus. C'est le moyen que M. l'ingénienr en chef Minard a employé au canal Saint-Quentin.

Pour plus de détails sur les galeries souterraines, on renvoie aux historiques des grands travaux de ce genre et aux ouvrages relatifs soit à l'exploitation des mines, soit aux galeries de mines d'explosion du génie militaire.

Les puits, après l'exécution des souterrains, doivent être fermés pour empêcher des courants d'air trop actifs.

Par la même raison, il est utile de pouvoir ouvrir et fermer à volonté les têtes des souterrains jusqu'au niveau de l'eau, soit par des toiles qni s'enroulent ou se déroulent dans le sens vertical comme celles des salles de spectacle, soit par des châssis en bois amovibles, levés on abaissés par des treuils, on poussés et retirés comme des plaques de fermeture des fonrs.

Lorsqn'on a quelques raisons de craindre la perméabilité des terres, il faut leur laisser le temps de se rasseoir et n'introduire l'eau que par parties, en morcelant les biefs par des batardeaux à faux frais. On prévient ainsi les effets des ruptures possibles des digues qui sont en remblais sur les terrains inférieurs, et l'on parvient à reconnaître plus facilement les points à réparer. Moyen d'arrêter les filtrations d'eau des biefs.

Le premier moyen employé pour arrêter les filtrations a été de faire arriver des eaux troubles sur les parties des biefs qui perdaient l'eau ; les troubles snivent les filets d'ean, se déposent dans les fissures dn terrain et les ferment. On voit, par une note de M. l'inspecteur divisionnaire Fèvre, insérée anx *Annales des ponts et chaussées* de 1832, que le sable fin a parfaitement réussi pour étancher divers biefs du canal de Bourgogne ; déjà l'essai en avait été favorable au canal Calédonien, où la charge d'eau est de 5 mètres à 5$^{m}$,40 : une couche de 6 à 7 centim. de sable a snffi ponr prévenir et arrêter la plupart des filtrations. Dans les remblais on avait eu soin de plus d'exécuter dans leur partie centrale des corrois en sable fin et même en béton. Pl. 85. Fig. 419.

Si l'emploi de ce moyen était infructueux dans certains terrains crayeux à fissures très-profondes et très-larges, on pourrait creuser le fond et les parois sur 1 mètre et même 2 mètres de profondeur, et remplacer le terrain enlevé par de la terre argileuse mélangée d'un peu de sable fin (pour éviter le retrait lors des chômages) et pilonnée par petites couches mouillées convenablement.

M. l'ingénienr Brière de Mondétour, auteur des projets de canalisation de la Marne et du canal de l'Aisne à la Marne, a proposé, d'après des faits nouveaux observés par lui, de prévenir les filtrations des biefs, dans les terrains crayeux, par des corrois de fond et de rive en craie massivée, c'est-à-dire broyée et rédnite en pâte.

An canal du Centre et à celui de Saint-Quentin, on a fait, à 30 ou 40 centimètres en arrière des parements de la cuvette d'eau, une enveloppe en béton on maçonnerie de moellons et mortier hydraulique, terminée dn côté de l'eau par une chape de 3 centimètres d'épaisseur, le tout formant environ 16 à 17 centimètres. Ce moyen a parfaitement réussi, mais il est fort coûteux et ne conviendrait peut-être pas aux filtrations qui proviendraient de tassements dans les parties des biefs en remblais. Ici l'emploi dn sable fin atteindrait mieux le bnt. Pl. 86. Fig. 420.

Tontefois M. l'ingénieur Mirard a eu recours avec succès aux corrois de béton, au canal du Centre, pour l'étanchement des filtrations de la partie de ce canal qui était en remblais à *Vertempierre*.

### *Écluses.*

Écluses à sas accolés.

On a vu plus haut que les écluses accolées avaient l'inconvénient de dépenser bien plus d'eau que les écluses qui seraient isolées par des biefs tels, qu'ils pussent fournir deux éclusées sans interrompre le service de la navigation.

Les écluses inférieures, dans le système des sas accolés, ont, sous le rapport technique, l'inconvénient d'être soumises à une charge d'eau très-considérable, qui peut déterminer des filtrations, des soulèvements de radier de bas en haut, et exiger des précautions et

Pl. 86. Fig. 421.

des dépenses considérables de fondation; en sorte que l'économie que procure la suppression d'une paire de portes, des murs en retour et d'épaulement serait atténuée en grande partie.

Gauthey, dans le troisième volume de ses Œuvres, trouve que l'économie définitive n'est que de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{4}$ pour les sas accolés depuis deux jusqu'à cinq écluses. Mais Gauthey n'a pas fait ressortir que la véritable économie dans les sas accolés consiste dans le moindre développement à donner, dans des terrains très-accidentés, à des biefs qu'il faudrait sans cela établir ou sur des remblais élevés, ou dans des tranchées profondes et des souterrains. Il peut résulter de là même une économie dans la consommation d'eau par moindres pertes d'évaporations ou de filtrations dans les biefs. Enfin, les sas accolés économisent une rente annuelle assez considérable en frais d'éclusiers logés au compte de l'État.

Ainsi les sas accolés, employés judicieusement lorsqu'il y a grande abondance d'eau, peuvent être d'un emploi fort avantageux, surtout sur des terrains abrupts, où la chute est très-grande.

Le nombre d'écluses accolées qui doivent racheter une chute déterminée dépend de la chute de chacune d'elles; et celle-ci ne doit pas différer sensiblement des chutes des premières écluses isolées qui les suivent, afin de ne pas perdre inutilement de l'eau du bief de partage dans les bassins inférieurs. On fait du reste les chutes des écluses accolées égales entre elles par le même motif, à moins que des sujétions locales ne s'y opposent. Cette uniformité est dans l'exécution une source d'économies assez considérables de taille et de pose.

Écluses isolées.

Dans les écluses isolées, toutes choses égales d'ailleurs, il est avantageux, par la considération qu'on vient d'énoncer, de faire les chutes égales entre deux prises d'eau successives. Mais ce principe n'a rien d'exclusif et doit recevoir des modifications de la disposition des biefs relativement au terrain environnant. Quelques auteurs ont pensé qu'il fallait diminuer les chutes à mesure qu'on s'éloignait du point de partage ou de la prise d'eau, pour n'être pas obligé de tirer de ce dernier de quoi remplacer les pertes par évaporation et filtration dans les biefs les plus éloignés.

La grandeur des chutes et le nombre des écluses sont corrélatifs, puisque la hauteur totale à franchir est déterminée. Plus la chute d'une écluse est grande, plus elle con-

somme d'eau pour le passage d'un bateau; par conséquent, vers le point de partage, où les eaux sont moins abondantes, il paraîtrait utile sous ce second point de vue d'*avoir des chutes plus petites*, sauf à les augmenter dans les parties inférieures. Mais, d'un autre côté, il y a de cette manière, près du point de partage, un plus grand développement de biefs qui, par compensation, perdent l'eau en évaporations et filtrations; l'on arrive d'ailleurs moins vite aux affluents d'eau en contre-bas du point de partage.

Les grandes chutes économisent sur le nombre des biefs, sur celui des écluses et éclusiers, sur le temps total du trajet, mais forcent souvent de maintenir les biefs en remblais ou de les creuser en déblais sur une plus grande hauteur. L'exécution des écluses devient alors aussi plus difficile à cause de la charge d'eau plus considérable; enfin les fermetures d'aval sont plus élevées.

C'est donc un problème extrêmement complexe, surtout si l'on fait entrer de plus en ligne de compte la durée du trajet total pour la navigation, et les chances d'avaries et d'entretien de toute espèce.

L'usage général circonscrit les chutes d'écluse entre $1^m,50$ au minimum et 3 mètres au maximum pour les canaux de navigation *ordinaire de 1,65 de tirant d'eau.*

On évalue d'ordinaire la durée du passage par une écluse de $2^m,60$ de chute, au temps nécessaire pour parcourir 500 mètres de longueur du canal. Sous le rapport de la dépense, une écluse de la même hauteur de chute correspond assez généralement à un bief de 550 mètres.

Dans les canaux à grande profondeur d'eau, où déjà la charge d'eau sur les parois de fond est de 4 à 5 mètres, les *conditions du problème sont tout autres*. Il est évident, par exemple, que sous le rapport des poids de l'eau, 1 mètre de plus ou de moins n'est alors que $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ en plus ou en moins de la charge primitive.

Des dimensions et des formes des écluses à sas.

Une écluse à sas isolée se compose : 1° de la chambre d'écluse d'amont, avec la fermeture correspondante et le mur de chute; 2° du sas, intercalaire entre ce mur de chute et la partie la plus saillante dans le sas, de la fermeture de la chambre d'écluse d'aval; 3° de cette chambre d'écluse d'aval.

Pl. 86. Fig. 422.

Les chambres d'écluse d'aval et d'amont ont besoin d'être construites avec la plus grande solidité et une imperméabilité complète; le système de fermeture doit y être facile à manœuvrer et le moins dispendieux possible de construction et de réparation. Les dimensions des écluses sont d'ailleurs réglées généralement au minimum de largeur et pour le passage d'un seul bateau.

Des sas. Pl. 78. Fig. 375.

Mais le sas, n'étant rempli d'eau que pour le passage des bateaux, pourrait être, à la rigueur, établi comme un bief ordinaire, et même comme les gares de ces biefs, pour plusieurs bateaux à la fois, ainsi qu'il avait été projeté par M. l'ingénieur en chef Goury, au point dit la Courbure du canal d'Ille à Rance. De là, la distinction des grands sas et des petits sas.

Des grands et petits sas.

Déjà il en a été question pour la canalisation des rivières, et l'on a dit que les grands sas ne peuvent présenter quelque utilité qu'aux écluses de jonction des canaux avec les

rivières ou avec les eaux de la mer, et lorsque la navigation se faisait concurremment avec de grands et de petits bateaux. L'on a dit alors que ces sas avaient l'inconvénient de dépenser autant d'eau pour le passage d'un seul bateau que pour celui de plusieurs; que le temps nécessaire pour remplir d'eau un grand sas et faire passer plusieurs bateaux simultanément, équivaut presque au temps qu'exige leur passage successif dans les petits sas. Il faut ajouter à ces considérations que les grands sas, s'ils sont exécutés simplement comme des biefs ordinaires, peuvent, par le voisinage du mur de chute, donner lieu à des filtrations du fond, et que leur radier, s'il est exécuté en maçonnerie comme dans les petits sas, a besoin d'une grande solidité pour n'être pas soulevé.

Les grands sas ne sont donc admissibles que pour les biefs servant de gares de stationnement; et même là il serait quelquefois préférable d'avoir deux écluses au lieu d'une seule, l'une à grand sas et l'autre à petit, ou même deux écluses seulement à sas ordinaire, comme au canal du Prince Régent en Angleterre. Pour diminuer la dépense d'eau des grands sas lorsqu'il ne se présente qu'un seul bateau, on les a coupés quelquefois en deux parties, par une paire de portes intermédiaires, ainsi qu'il a été dit pour les canaux latéraux aux rivières; mais alors le sas a une longueur totale plus grande que celle de deux petits bateaux bout à bout.

Pl. 86. Fig. 123.

Forme des sas.

Les sas sont exécutés généralement en plan sur une base rectangulaire, ayant pour largeur celle d'un bateau ou de plusieurs, suivant que le sas est petit ou grand; toutefois, au canal du Midi et dans des canaux anglais, on a donné une courbure elliptique aux bajoyers dans l'intention, soit de permettre aux petits bateaux qui accompagnent les grands de se placer dans ces renfoncements, soit de procurer plus de résistance contre la poussée des terres. Mais la dépense d'eau par éclusée est plus grande; le radier est moins solide ou plus dispendieux à solidité égale, et les sujétions de cette forme curviligne coûtent, sous le rapport de la résistance, plus qu'elles ne produisent. On a donc généralement adopté aujourd'hui une base rectangulaire.

Les deux parois de rive du sas ont été faites quelquefois en talus; mais cette forme évasée dépense beaucoup trop d'eau, force d'allonger les contre-forts des écluses pour que l'eau d'aval ne puisse pas s'infiltrer par les talus, et donne lieu à des réparations continuelles; l'on fait donc aujourd'hui généralement des parois de rive verticales. Seulement en Hollande, où la pierre est rare, l'on s'était servi de bois pour le fond et les bajoyers du sas. Mais cette espèce de caisse en bois, décrite dans l'Architecture hydraulique de Bélidor, gardait mal l'eau, exigeait un entretien continuel et des renouvellements tous les douze à quinze ans; l'on a été ainsi conduit à faire partout en maçonnerie l'enveloppe des sas.

L'épaisseur des bajoyers et du radier doit être établie d'après les règles générales énoncées au commencement de cet ouvrage, et dans les cas les plus défavorables, comme s'ils étaient soumis *aux charges d'eau du bief d'amont*. Même si l'écluse se trouve sur le revers d'un coteau, il faut tenir compte des charges d'eau des sources élevées, dont les filets pourraient aboutir aux bajoyers et sous le radier.

Pour réduire l'épaisseur de ce dernier, on l'exécute souvent en voûte renversée, dont la flèche est du $\frac{1}{7}$ au $\frac{1}{8}$ de la corde.

On a placé souvent aussi des contre-forts derrière les bajoyers, moins pour économiser sur l'épaisseur de ces derniers que pour les empêcher de gonfler sur leur longueur en forme d'arc de chaînette, et ponr rompre le fil des eaux d'infiltration venues d'amont. Le dessus du radier des sas correspond ordinairement au fond du bief inférieur.

Les formes et dimensions de la chambre de l'écluse d'amont dépendent dn système de fermeture adopté. Chambre d'écluse d'amont.

S'il consistait en poutrelles superposées ou châssis amovibles dans le sens vertical, il est évident que la chambre d'amont serait restreinte à un radier très-court de niveau avec le fond du bief d'amont, et à deux bajoyers très-courts avec rainnres ou feuillures, raccordés par des pans coupés ou des murs en retour avec les talus de ce bief. Mais l'emploi général des portes tournantes sur axes verticaux, et à deux vantaux busqués pour les écluses de plus de 3 mètres de largeur, force d'allonger les bajoyers de la chambre d'écluse d'amont de la longueur des vantaux ouverts, ou plutôt de la longuenr des enclaves ménagées pour loger l'épaisseur du bois.

Quelquefois on laisse de plus, en amont de ces enclaves, 1$^{m}$,50 à 2 mètres de longueur pour les rainures des poutrelles qui auraient pour objet de retenir l'eau seulement en cas de réparations des portes. Le système de fermetnres par portes exige aussi dans le radier une hauteur en saillie de 20 à 30 centimètres pour le buttement du bas des vantaux mobiles. Pl. 86. Fig. 424.

Les murs de chute sont disposés tantôt en plan suivant une ligne droite perpendiculaire à l'axe de l'écluse, tantôt suivant un arc de cercle. La première disposition convient pour les portes non busquées et à nn seul vantail; la deuxième, pour les portes busquées, parce que dans ce cas l'épaisseur des maçonneries entre le mur de cbute et les portes est uniforme, et parce que l'eau, quand elle entre dans le sas par des ventelles ménagées dans les portes d'amont, se présente normalement aux parois du mur de cbute et n'éprouve pas de ricochets. Murs de chute.

Le mur de cbute pourrait en profil être établi en plan incliné, ou suivant la courbe de *plus vite descente*, afin d'amortir la vitesse des eaux lorsqn'on les introduit par des ventelles; mais on perdrait de la place pour les bateaux et il faudrait allonger d'autant le sas. Pl. 87. Fig. 425.

Le mur de chute est donc vertical dans la plupart des anciennes écluses, et il rachète la différence de bauteur du radier du sas et de celui du bief. Mais il en résultait plus de maçonnerie pour le mur, et surtout une cbute d'eau très-forte sur le radier du sas et sur les bateaux, et des avaries pour les deux. Aujourd'hui l'on diminue souvent le mur de cbnte; le radier de la chambre des portes d'amont reste de niveau, mais sa tête amont se raccorde par une petite pente avec le fond du bief. L'on prévient ainsi en partie les effets ci-indiqués, et l'on fournit de la place aux extrémités saillantes des bateaux. Pl. 86. Fig. 422.

L'inconvénient de cette disposition, déjà mentionnée précédemment, est d'accroître la charge d'eau que les portes d'amont ont à soutenir, et d'exposer aux atterrissements le palier snr lequel elles doivent tourner.

En donnant plus d'extension à cette disposition, c'est-à-dire en supprimant le mur de chute, on compléterait l'avantage de raccourcir le sas, parce que les bateaux pourraient se loger entre les portes d'amont et celles d'aval, et ces deux jeux de portes seraient alors entièrement semblables entre eux. Mais il faudrait creuser en pente une assez grande longueur du bief en amont des écluses, au moins sur quinze fois la hauteur de la chute entre les niveaux d'amont et d'aval.

Pl. 79. Fig. 379.

L'épaisseur des murs de chute doit être réglée par la charge d'eau en amont, et plus encore par la nécessité d'intercepter l'eau des filtrations et de résister au choc des bateaux.

Pl. 86. Fig. 422.

Cette dimension est ordinairement de $1^m,0$ à $1^m,50$ pour des chutes de $2^m,60$; par les mêmes motifs, on fonde le mur de chute ainsi que les parties des bajoyers attenantes plus bas que le reste des maçonneries.

La partie du radier de la chambre d'écluse d'amont, qu'on nomme *busc* ou heurtoir, est en saillie de 20 à 30 centimètres sur le palier où tournent les portes d'amont; en plan le busc forme un chevron brisé vers l'amont, pour les portes d'écluse à deux vantaux.

La recherche de l'angle le plus avantageux à donner à ce chevron a occupé beaucoup d'ingénieurs; si l'angle était zéro, on aurait le minimum de longueur des vantaux, mais ils ne se prêteraient aucun appui; si l'angle était droit, les vantaux se presseraient normalement, mais leur longueur et celle de l'écluse seraient plus grandes et les charges d'eau seraient plus fortes. D'après un usage presque général, la flèche du busc est du [illegible] au [illegible] de l'ouverture; cependant la moyenne des saillies de busc des anciennes écluses est du [illegible] au [illegible] de l'ouverture.

D'après un mémoire de M. Barlow, la saillie de busc devrait correspondre à un angle de 19° 24′ de l'hypothéuuse avec la base, c'est-à-dire être du [illegible] au [illegible] seulement de la largeur de l'écluse.

On appareille ordinairement le busc en claveaux suivant un arc de cercle concentrique à celui du mur de chute. Pour prévenir les épaufrures de la pierre et la jonction toujours imparfaite du bois des portes avec la pierre, on place contre les heurtoirs en maçonnerie des heurtoirs en bois, encastrés de manière à pouvoir être renouvelés. Entre les deux, on engage une étoffe de laine très-épaisse, dite *frise*, fortement comprimée par les boulons à vis qui contiennent le heurtoir.

La distance entre l'enclave des portes d'amont et la naissance du mur de chuto dépend de l'épaisseur de ce dernier, et surtout de l'appareil du busc; elle n'a pas ordinairement moins d'un mètre.

Les enclaves doivent avoir une profondeur et des évidements pour recevoir les portes ouvertes avec tous leurs reliefs, tels que le passage des bateaux ne puisse être rétréci;

après les enclaves vient l'emplacement des rainnres d'amont, puis nn pan conpé ou demi-cercle sur chaque rive, en raccordement avec le mur en retonr. Ce dernier va s'enraciner dans le talus des biefs à une profondeur d'au moins un mètre en dedans de leur crête. Cet enracinement a pour but d'empêcher les eaux du bief amont de s'infiltrer derrière les bajoyers d'écluse.

On rétrécit quelquefois la cuvette des biefs supérieur et inférieur, comme il est indiqué fig. 426 des planches, en disposant alors en surfaces gauches les perrés de revêtement aux abords des chambres d'écluse. Pl. 87. Fig. 426.

Les épaisseurs des murs d'enclave et de rainures, des pans coupés et murs en retour de la chambre de l'écluse d'amont, doivent être réglées dans l'hypothèse de *terres liquides remblayées en arrière*. Celle du radier peut être bornée, dans un terrain de rocher, à 1 mètre, dont 30 centimètres en maçonnerie parementée, et le reste en béton destiné à empêcher les filtrations d'eau. Ce radier est ordinairement terminé à la ligne des murs en retour par un arc de cercle concave à l'amont, ou par nne plate-bande appareillée dans le même sens, ou même par une simple pièce de bois.

**Chambre d'écluse d'aval.**

La chambre d'écluse d'aval présente, comme celle d'amont, un busc et des enclaves pour les portes; mais en aval de ces enclaves il faut nne longueur aux bajoyers de cette éclnse, variable suivant la charge d'eau que les portes anront à soutenir lorsqu'elles seront fermées. De plus, qnand les portes se manœuvrent par des flèches, c'est à l'aval des enclaves que l'éclusier agit snr ces bras de levier. L'on donne donc à cette partie de la chambre d'écluse d'aval de 3 à 5 mètres de longueur dans les écluses de navigation; on y réserve aussi des rainures pour recevoir des poutrelles formant batardeau en cas de réparation des portes. Les épaulements de la chambre d'éclnse d'aval se terminent d'ailleurs, comme ceux de l'écluse d'amont, par des pans conpés ou demi-cercles, en raccordement avec les mnrs en retour. Le radier de la chambre d'écluse d'aval est terminé également en plan par un arc de cercle concave vers l'aval ou par une plate-bande, on même par une simple pièce de bois. Ce radier est d'ailleurs, dans le sens vertical, souvent en voûte renversée ou en plate-bande appareillée en claveaux. De plns, à cause de la vitesse assez grande que prend l'eau lorsqne l'on vide le sas, on met à la suite du radier de l'écluse d'aval nn arrière-radier de 12 à 15 mètres de longueur, pour des chutes ordinaires de $2^m$,60 à 3 mètres. Cet onvrage est formé d'nne plate-forme planchéiée en bois, ou de fascinages et même de roseaux, on enfin d'un pavage maçonné. Les talns du bief d'aval sont, par les mêmes motifs, revêtus de la même manière et sur la même longueur. Pl. 86. Fig. 422.

L'épaisseur dn radier de la chambre d'écluse d'aval doit être la même que celle du radier des sas, parce qu'elle est sonmise aux mêmes charges. Celle des mnrs d'enclaves, des mnrs de raccordement, murs en retour, doit être réglée comme celle des bajoyers. Quant à celle des épaulements, elle doit résister à la poussée de l'eau sur les portes fermées, et soutenir ces dernières qnand elles sont tournantes; on place quelqnefois un contre-fort diagonal pour cette dernière fonction.

Exécution des écluses.

Pl. 87. Fig. 427.

L'exécution des écluses ne requiert, au reste, des pierres de taille qu'aux arêtes des différentes parois et aux couronnements ; et même là elles peuvent être remplacées par des encadrements en bois ou en fonte de fer élégie, remplis en maçonnerie de mortier, avec moellons ou pavés de champ. Le reste des parements peut être exécuté en maçonnerie de moellons ou de briques avec bon mortier hydraulique. Mais des corrois en béton, verticaux et transversaux à l'amont, horizontaux sous les radiers du sas et des écluses d'aval, et longitudinaux dans l'épaisseur des bajoyers, sont presque indispensables contre les filtrations.

Écluses extrêmes d'un canal pour sa jonction avec des rivières.

On a déjà dit, à propos des dérivations latérales aux rivières et aux communications d'un canal avec la mer, qu'il était nécessaire d'ajouter, tantôt à la chambre d'écluse d'aval seulement, tantôt à la fois aux chambres des deux écluses d'amont et d'aval, des portes busquées vers l'aval suivant qu'on veut seulement empêcher les crues ou les marées hautes de pénétrer dans le canal, ou qu'on veut de plus pouvoir communiquer en tout temps du canal avec la rivière ou la mer, quelles que soient les hauteurs respectives de l'eau dans le canal et à l'extérieur. Les couronnements des bajoyers sont alors placés nécessairement à un niveau tel, qu'ils soient insubmersibles même lorsque les eaux sont agitées à leur maximum de hauteur.

Pl. 87. Fig. 428.

L'établissement, dans la chambre d'écluse d'aval, d'une paire de vantaux busqués vers l'aval, dits *de flot*, n'exige pas une augmentation notable de longueur dans les bajoyers de cette chambre, parce que les portes se placent dans l'épaulement avant le pan coupé, et qu'un simple *trumeau* de 1m,50 au maximum sépare les enclaves de la nouvelle paire de portes et celles de l'ancienne. Il est évident d'ailleurs que l'existence de ces deux jeux de portes, manœuvrées en sens contraire, ne permet plus de se servir des flèches ordinaires pour les ouvrir, et qu'il faut recourir aux cabestans, treuils et palans.

Pl. 87. Fig. 429.

Quand on met des portes de flot dans la chambre d'amont, pour opérer des sassements en *sens inverse* des sassements ordinaires, on peut réduire ou supprimer le mur de chute, comme il a été déjà dit ; sinon on le dispose en plan de manière à former la base des nouvelles portes ; celles-ci alors n'ont besoin que d'une hauteur bien moindre. On ne laisse aussi qu'un trumeau de 1m,50 environ entre les deux enclaves des deux jeux de portes de l'écluse d'amont, et les enclaves des nouvelles portes sont prises aux dépens des bajoyers du sas.

Pl. 87. Fig. 430.

On pourrait à la rigueur se dispenser d'un double jeu de portes, en annexant des moyens de résistance *amovibles* contre la pression du flot, aux portes ordinaires convenablement relevées, alors même qu'elles seraient surmontées d'un étage de vantaux supérieurs indépendants des ventaux inférieurs. Ces moyens peuvent consister soit en tirants de retenue en fer placés à l'aval, soit en arcs-boutants, dits *valets*, placés à l'amont ; ces derniers sont mobiles autour de charnières verticales placées dans les enclaves des portes, et se rabattent dans des refouillements pratiqués dans ces mêmes enclaves.

Écluses à sas accolés.

Dans les écluses à sas accolés, les portes d'aval d'un sas forment portes d'amont du sas suivant ; l'on économise une paire de portes et la longueur des bajoyers qui corres-

pondrait à ses enclaves. La pression de l'eau contre ces portes est d'ailleurs contre-tenue par toute la longueur des bajoyers d'une paire de portes à l'autre. Mais, comme on l'a déjà fait observer, si les filtrations peuvent se faire jour, elles soumettront toutes les maçonneries des radiers et murs de chute des sas inférieurs à toute la charge d'une colonne d'eau ayant pour base ces radiers et murs, et pour hauteur la différence de niveau entre eux et le niveau de l'eau en amont du premier sas supérieur, différence qui peut être quelquefois de plus de 10 mètres.

Les couronnements des bajoyers des différents sas et les terre-pleins riverains doivent présenter à la suite des portes et à peu près dans la direction transversale des murs de chute, des gradins à marches ou des pans inclinés assez roides d'une hauteur équivalente à celle des murs de chute. Ces gradins ou plans inclinés rendent plus difficile la manœuvre des portes d'écluses par des flèches. Pl. 86. Fig. 121.

Le canal du Midi, le canal Calédonien, le canal d'Erié aux États-Unis offrent plusieurs exemples d'un grand nombre d'écluses accolées. Au canal Calédonien, l'escalier de *Neptune* présente huit sas accolés occupant un espace longitudinal de 457$^m$,20, et rachetant une chute totale de 18$^m$,29. La dépense totale s'est élevée à 1,236,400 fr., et par mètre de chute à 68,680 francs.

Moyen d'introduire l'eau dans les sas et de l'en faire sortir.

Le moyen d'écoulement d'eau le plus ancien et qui paraît encore le moins mauvais est celui d'ouvertures pratiquées dans les vantaux des portes et fermées facultativement par des ventelles qu'on fait monter et descendre à l'aide de crics. On lui a reproché de déliaisonner les portes, de causer des pertes d'eau, d'être très-lent pour les derniers temps du remplissage ou de l'évacuation du sas, et de produire pour les portes d'amont en particulier une cascade d'eau qui inonde les bateaux montants, les pousse vers l'aval et dégrade le mur de chute et le radier du sas. Il est facile de remédier à ce dernier effet en plaçant un faux plancher d'une longueur environ triple de la hauteur de la chute.

On y a substitué, au canal de Briare et au canal de Liverpool à Birmingham, des *larrons* ou aqueducs coudés en plan et avec pente en profil, qui partent normalement des deux rives de la chambre des portes, et débouchent normalement aussi dans les murs en retour de la chambre d'écluse d'aval. Ils sont fermés également à leur origine par des ventelles. Pl. 87. Fig. 451.

On établit souvent une communication entre les *larrons* des chambres d'amont et d'aval, qu'on peut interrompre alors par une ventelle, et dans ce cas ils ont un débouché unique dans le sas. Ce mode exige une surépaisseur considérable dans les maçonneries, multiplie considérablement les chances de filtrations, et en rend la recherche et l'étanchement très-difficiles. Il est aussi lent que celui des ventelles, mais il a l'avantage de ne pas mouiller les bateaux et de ne pas les pousser contre l'aval, et d'éviter des dégradations dans les murs de chute et dans le radier; enfin, il est très-utile dans les canaux à pente où il y a un volume d'eau vive à faire passer constamment d'un bief à l'autre.

On a employé fréquemment aussi les *siphons renversés*, dont l'orifice d'entrée horizontal est dans le radier des chambres des portes, et dont les orifices d'évacuation,

également horizontaux, se trouvent dans le radier dn sas et dans le radier d'aval de la chambre d'écluse d'aval. Mais ce moyen, très-lent à canse des sinuosités du siphon, de son diamètre nécessairement faible, a tous les inconvénients du précédent et même à un plus haut degré; de plus, les orifices d'introdnction et d'évacuation penvent être facilement envasés et obstrués, et la manœuvre d'onverture des tampons ou clapets peut être même empêchée par ce motif. Enfin le poids de la colonne d'eau à soulever ponr l'onverture représente une résistance au moins triple de celle qu'oppose le frottement des ventelles.

Pl. 87. Fig. 432.

Au canal du Centre, on a fait déboucher le siphon de la chambre d'amont dans une voûte sons le mur de chute; cette disposition ne diminne les inconvénients précédents qu'en affaiblissant la résistance du mur de chute et du busc des portes d'amont. Feu M. l'ingénieur Girard avait proposé pour le canal de Soissons des hondes *flotteurs* qui auraient considérablement réduit la résistance au soulèvement.

Pl. 87. Fig. 433. Pl. 87. Fig. 434.

Pl. 88. Fig. 435. On a proposé des siphons ordinaires amovibles posés à cheval sur le haut des portes : mais ces moyens sont très-lents, surtout dans les derniers temps de l'introduction et de l'évacuation de l'eau, et la moindre fissure les mettrait en défaut.

La rédnction de hauteur des murs de chnte diminue l'un des inconvénients reprochés aux ventelles des portes d'amont, et l'on peut pour ces portes hâter le remplissage en laissant leur hord snpérieur *amovible comme une hausse;* car en élevant on rabattant ces hausses lorsqne le sas est presque plein, il achèverait de se remplir presque instantanément. Au canal latéral à la Loire, on a donné aux ventelles ponr largenr tout l'intervalle entre le poteau husqué et le poteau tourillon, en sorte qu'nn débouché de 2 mètres de hauteur suffit pour remplir les sas.

---

## RÉSUMÉ DE LA VINGT-NEUVIÈME LEÇON.

FERMETURES D'ÉCLUSES EN BOIS OU EN MÉTAL. — SYSTÈME D'EXÉCUTION DES ÉCLUSES. — PONTS FIXES ET MOBILES. — RENCONTRES D'UN CANAL AVEC DES COURS D'EAU. — PONTS CANAUX. — PONTS AQUEDUCS. — PASSAGES EN RIVIÈRE. — REMPLISSAGE ET VIDANGE DES BIEFS.

---

Fermeture des écluses.

Le système le plus généralement usité aujourd'hui pour la fermeture des écluses, est celui de vantaux tournant sur des axes verticaux. Il a le grand avantage de n'opposer à la manœuvre que des frottements circulaires et de deuxième espèce, et d'exiger le minimum de maçonnerie.

On a employé d'abord des vannes ou des poutrelles comme celles des pertuis de navigation en rivière, qu'on élevait par des appareils sur échafaudages; puis des tabliers

tournant autour d'axes horizontaux placés dans le radier; quelquefois des portes roulantes entrant dans des rainures transversalement réservées dans la maçonnerie des bajoyers. Les portes étaient alors guidées dans leur manœuvre par des roulettes en bois et des coulisses amovibles dans le haut. Mais tous ces procédés, depuis longtemps abandonnés, opposaient comme résistances tantôt les poids mêmes des fermetures, tantôt des frottements de première espèce.

Les portes d'écluses à un seul vantail et à deux vantaux présentent un cadre en bois ou en fonte composé d'un poteau vertical qui n'est mobile que sur lui-même et qu'on nomme poteau *tourillon* (la partie attenante des bajoyers se nomme *chardonnet*); d'un deuxième poteau mobile avec le cadre, qu'on nomme poteau *busqué* ou *délardé* dans les portes à deux vantaux. Entre ces poteaux sont des traverses horizontales ou *entretoises*, et généralement des pièces diagonales nommées *bracons*, s'élevant du poteau tourillon vers le poteau busqué; enfin un bordé plus ou moins épais et cloué sur les entretoises, calfaté et quelquefois doublé en zinc ou en cuivre. Il a pour objet d'empêcher le passage de l'eau quand la porte est fermée. Le bordé est par rangées ou *virures*, tantôt horizontales, tantôt verticales, ou inclinées comme les bracons et remplissant alors les mêmes fonctions que lui. Enfin une armature en fer ou en cuivre lie le pied du poteau *busqué* au haut du poteau tourillon, et est disposée de manière à pouvoir en agrandir ou en raccourcir l'intervalle. Elle a pour objet d'empêcher le vantail de *baisser du nez*, suivant l'expression vulgaire. Portes d'écluses. Pl. 88. Fig. 436.

Le poteau tourillon pivote dans le bas sur une crapaudine conique et en métal qu'il porte, et dans laquelle s'engage un tenon ou mamelon également métallique, saillant sur le radier du chardonnet. Dans les anciennes écluses, c'était l'inverse : la crapaudine était dans le radier, et le mamelon dans le bas du poteau tourillon ; en sorte que cette dernière se remplissait de dépôts et donnait lieu à des frottements considérables.

Le poteau tourillon est tenu dans le haut par un collier métallique à charnières, dont la partie fixe ou la *fourchette* est reliée par des tirants en fer à la maçonnerie des bajoyers.

Pour diminuer le frottement de ce collier contre la porte, M. Gauthey avait implanté un axe de fer cylindrique dans le haut du poteau tourillon. Mais il en résultait que lorsqu'on se servait de flèches pour ouvrir les portes, le poteau tourillon, découpé par le tournant du collier, n'opposait d'autre résistance que celle de l'axe en fer, et que cet axe lui-même pouvait se tordre et se briser, si les vantaux étaient arrêtés sur le radier par quelque obstacle. Pl. 88. Fig. 437.

On obviait à cet inconvénient en plaçant l'axe de rotation en dehors du poteau tourillon, comme pour les gonds des portes et fenêtres ordinaires; mais cette disposition forçait d'allonger les enclaves. Pl. 88. Fig. 438.

Lorsqu'on ne se sert pas de flèches pour ouvrir les portes, et que les poteaux tourillons ne s'élèvent pas au-dessus du couronnement de l'écluse, on peut adopter le système d'un axe en fer formant *mamelon* sur le haut des poteaux tourillons, tel qu'il a été employé au canal Saint-Denis.

Les tirants de retenue des colliers sont ordinairement au nombre de deux : l'un dans le sens de la porte ouverte et s'éloignant toutefois du parement du bajoyer ; l'autre dans le sens de la porte fermée. Les tirants terminés par des pattes de manière à saisir le plus grand volume possible de maçonnerie, sont liés au collier à l'aide de clefs ou de vis à écrous qui permettent de poser ce dernier avec toute la précision nécessaire.

La forme *relative* et l'exécution du chardonnet en pierre et du poteau tourillon exigent beaucoup de soin pour éviter les filtrations. Comme la pierre en contact avec le bois et le fer intercepte mal l'eau, l'on a exécuté quelquefois en bois la partie verticale du chardonnet, en l'encastrant alors dans la maçonnerie.

Le problème à résoudre, c'est d'avoir le moins de frottement possible dans la manœuvre des portes, et le plus d'imperméabilité possible lorsqu'elles sont fermées. On a proposé à cette fin la disposition indiquée fig. 439 des planches.

Pl 88, Fig. 439.

La charge d'eau allant en croissant du haut vers le bas, la résistance de la charpente de la porte doit aussi aller en augmentant dans le même sens. On y parvient en rapprochant de plus en plus les entretoises vers le bas, et en augmentant à la fois leur dimension en hauteur. Dans les écluses de navigation ordinaires qui ont de $5^m,20$ à 8 mètres de largeur de passage, on peut former les entretoises avec des pièces de 25 à 30 centimètres d'équarrissage au plus. Pour des vantaux plus larges, on serait conduit à des entretoises d'un équarrissage difficile à trouver d'un seul morceau, mais qu'on réaliserait par plusieurs pièces réunies à entailles dans le sens de l'épaisseur de la porte.

L'entretoise inférieure doit avoir au moins $0^m,20$ de jeu entre elle et le radier de la chambre des portes pour ne pas être arrêtée par les dépôts de terres et autres.

**Vantaux courbes.**

En Angleterre, on a exécuté, particulièrement pour les écluses d'une grande dimension, des vantaux de portes à section horizontale curviligne. Ils ont l'avantage sur les portes pleines, à égalité de saillie du busc, de procurer la même résistance avec un moindre volume de bois, et partant de rendre les portes plus légères et plus faciles à tourner. Mais la rareté et le prix des bois *courbes naturellement* est une objection assez grave contre ce système, qui de plus force d'avoir des enclaves curvilignes dans les bajoyers. D'après le mémoire de M. Barlow, dont la traduction se trouve dans l'appendice n° 2 du 3$^{me}$ volume, la courbure la plus avantageuse serait *théoriquement* un arc de cercle passant par les points de rotation et par le sommet du busc. Mais, dans la pratique, M. Barlow conseille de dévier de ces formes, et de préférer la forme de demi-arcs ogives dont le point de rencontre serait à $0^m,30$ à $0^m,45$ au delà de l'arc de cercle ci-dessus. On renvoie à cet appendice pour plus de détails.

Les divers effets qu'éprouvent les poteaux busqués et les entretoises, lorsque les portes viennent choquer contre le busc ou les enclaves, ou lorsqu'on veut les ouvrir sous une certaine charge d'eau à l'amont, exigent qu'outre les assemblages ordinaires, les entretoises soient reliées avec les poteaux par des ferrures en fer plat, nommées *étriers ou équerres*, entaillées ordinairement dans l'épaisseur du bois et maintenues par des boulons à vis et écrous. On a soin que les parois des vantaux qui retombent sur les

enclaves ne présentent aucun relief d'écrous qui empêcherait les vantaux de se rabattre complétement. Le poteau tourillon doit être de plus *fretté* dans le bas. Pl. 88. Fig. 440.

Pour soulager les poteaux busqués et tourillons des portes d'une grande ouverture, l'on a quelquefois placé des roulettes au pied des premiers; mais la manœuvre en était presque toujours empêchée par des dépôts sur les radiers, et l'on y a renoncé; ces roulettes avaient du reste toutes été exécutées sur des diamètres beaucoup trop faibles.

La communication s'établit d'une rive à l'autre de l'écluse au moyen de planches; on place à cet effet des consoles saillantes, en bois ou en métal, sur les poteaux tourillons et busqués en dessus du niveau du couronnement des bajoyers.

On renvoie du reste aux deux *Collections lithographiques de l'école des ponts et chaussées*, pour les détails de construction d'un grand nombre de portes d'écluses en bois.

L'on insistera seulement en finissant sur l'avantage qu'il y aurait à revêtir les vantaux sur leurs deux parois verticales d'un bordé imperméable, lequel, transformant en quelque sorte *en flotteurs* les compartiments verticaux entre les entretoises, rendrait les portes moins pesantes, et par conséquent plus lentes à se détraquer et plus faciles à la manœuvre.

Quand les vantaux des portes doivent avoir une grande hauteur qui les rendrait très-lourds et difficiles à manœuvrer, on peut les recouper sur le haut en deux étages, ainsi qu'il a été dit déjà pour la canalisation des rivières, et de manière que le haut des portes inférieures serve de seuil au bas des portes supérieures (voir la notice sur l'écluse de Beaucaire déjà citée). Même pour faire franchir les écluses par des bateaux à vapeur, le rang supérieur des portes pourrait être plus large que le rang inférieur, moyennant une retraite correspondante dans les bajoyers des chambres des portes. Ce système avait été appliqué, en 1805, à l'élargissement de la vieille écluse de Flessingue, par MM. les ingénieurs Sganzin et Lamblardie fils. Pl. 79. Fig. 378. Pl. 88. Fig. 441.

Ventelles des portes d'écluses.

Les ventelles pratiquées dans les portes doivent fermer hermétiquement et être faciles à manœuvrer; elles doivent de plus donner le *plus grand débouché possible à l'eau* afin de diminuer le temps du remplissage du sas, surtout dans les dernières périodes de l'opération. Cette dernière condition exige au moins 1 mètre à $1^m,20$ de largeur sur $0^m,40$ à $0^m,50$ de hauteur. Dans la plupart des portes des écluses récemment exécutées, on a donné aux ventelles, pour largeur, presque toute la distance entre le poteau busqué et le poteau tourillon.

Dans les portes d'amont, le seuil de leur débouché doit être au niveau du radier du busc; mais comme le sas est toujours rempli à la hauteur du niveau des eaux dans le bief inférieur, le seuil des ventelles des portes d'aval n'a besoin que d'être placé à ce dernier niveau.

L'orifice des ventelles est ordinairement percé vers le milieu de la largeur des vantaux; il y aurait des inconvénients faciles à prévoir à le porter uniquement vers le poteau tourillon, ou vers le poteau busqué. Les ventelles anciennes étaient en bois, et les coulisses où elles glissaient verticalement étaient en saillie sur

Pl. 88. Fig. 442. le parement des vantaux : de là la nécessité d'augmenter la profondeur des enclaves des bajoyers. On leur subtitue aujourd'hui des cadres en fer forgé ou en fonte douce revêtus de tôle, et les coulisses elles-mêmes sont métalliques. Le mouvement Pl. 89. Fig. 443. d'ascension est donné par un petit cric à simple ou double effet, ou à vis sans fin qui agit sur une tige verticale à crémaillère, en fer ou fonte, fixée à la ventelle. En Angleterre, pour diminuer la résistance au soulèvement de la ventelle, on établit un contrepoids à bascule équivalent au poids de cette fermeture et à son frottement quand elle n'est pas chargée par l'eau

Pl. 89. Fig. 444. En Angleterre aussi, on a donné aux orifices d'écoulement une forme trapézoïdale, et la ventelle est un plan tournant dans le plan des vantaux des portes, autour d'un axe horizontal, analogue aux *œils* des portes de *poêle*. Le mouvement de rotation est déterminé comme à l'ordinaire par un cric.

Manœuvres des portes d'écluse. Le moyen le plus simple de manœuvrer les portes d'écluses de grandeur ordinaire (5m,20 à 7m,80 de largeur entre les bajoyers) est l'emploi des leviers horizontaux, nommés *bascules* ou *flèches*, assemblées sur les poteaux tourillons et busqués, à la hauteur d'environ 1 mètre au-dessus du terre-plein des bajoyers. L'on donne à ces flèches Pl. 88. Fig. 436. une longueur égale à celle des vantaux, et souvent on charge leur extrémité d'un contrepoids pour diminuer les frottements contre les colliers. Mais dans les écluses accolées, dans les écluses à portes de flot, et même dans les écluses ordinaires lorsqu'il y a des ponts fixes ou mobiles qui traversent les bajoyers, on ne peut plus faire usage de ce moyen.

On y supplée alors : 1° par de longues perches nommées *béquilles*, armées de crochets qui viennent saisir les poteaux busqués, et que l'éclusier tire à lui ou pousse directement par l'intermédiaire d'engrenages. Ce mouvement est d'autant plus facile que le poteau tourillon est plus *excentré;* 2° par un double jeu de poulies et de points fixes, l'un pour ouvrir, l'autre pour fermer ; 3° par des treuils ou cabestans ; 4° enfin par des engrenages fixés sur les bajoyers.

Ces divers moyens facilitent l'ouverture des portes avec la force d'un seul homme, mais sont en même temps très-lents ; et il serait désirable, surtout aux écluses où la manœuvre se fait fréquemment et où les bateliers en grand nombre peuvent aider l'éclusier, qu'il y eût un système d'ouverture se prêtant à volonté à l'emploi d'une grande force agissant en peu de temps.

Quand on se sert de cordes ou de chaînes pour l'ouverture des portes, on est maître de leur point d'attache, et il est convenable, pour ne pas faire gauchir les vantaux (surtout si l'on veut ouvrir sous une petite charge d'eau), de fixer ces cordes de traction à la moitié de la hauteur des vantaux et même un peu au-dessus, à cause des vases, pierres et autres dépôts qui arrêtent souvent la rotation des portes.

Portes métalliques en tout ou en partie. Le fréquent renouvellement des portes en bois, qui ne durent guère plus de quinze ans, leur détraquement avec le temps et les pertes d'eau qui en résultent ont depuis quelques années fait essayer des vantaux entièrement ou en partie métalliques, soit en

fonte de fer, soit en fer forgé, soit enfin avec combinaison de ces deux matières. Au canal Calédonien, la rareté et le prix élevé du bois ont été le principal motif de son remplacement par la fonte dans les portes d'écluses. Ces portes, de 9$^{m}$,14 de haut et de 6$^{m}$,71 de largeur de vantail, pèsent, en tout, plus de 10,600 kil., et sont ouvertes et fermées par deux hommes.

Dans l'eau douce et loin de l'air salin des côtes maritimes, les métaux s'oxydent peu. La fonte de fer d'ailleurs a le grand avantage de prendre les formes d'égale résistance avec un minimum de poids; mais elle est quelque fois cassante par le froid et résiste peu aux chocs directs. Le fer forgé présente beaucoup plus de flexibilité, mais il coûte plus ; son ajustage est plus dispendieux et son défaut de rigidité fait ouvrir les joints du doublage.

On a coulé en Angleterre des portes en fonte d'un seul jet; en France on a employé la fonte par panneaux, comprenant plusieurs entretoises. Les entretoises exécutées en tuyaux creux réaliseraient du reste le système de flotteurs, dont on a indiqué les avantages en parlant des portes en bois. Pl. 81 Fig. 446.

En Angleterre et en Suède, ainsi qu'on peut le voir dans les Voyages en Grande-Bretagne de M. le baron Charles Dupin, dans l'historique du canal Calédonien, et dans les articles sur le canal de Gothie, insérés aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1834, on a conservé le bois pour le bordé. Au canal du Nivernois, on l'a remplacé par des plaques en tôle. (Lire l'article publié sur cet objet par M. l'ingénieur en chef Poirée, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1834.) Le prix élevé auquel ressortent encore la fonte et le fer forgé en France, relativement au bois, retarde une substitution qui a d'ailleurs besoin de la sanction de l'expérience. Pl. 89. Fig. 447.

Feu M. Bruyère, inspecteur général des ponts et chaussées, avait fait exécuter des portes d'écluses avec bâtis en fer forgé de 6 à 7 centimètres, assemblés par des rosaces et recouverts par deux pans de bois croisés. L'épaisseur totale était de 20 centimètres. (Voir le Recueil des ouvrages de M. Bruyère.) Pl. 90. Fig. 448.

Ouvrages accessoires aux écluses.

On place sur les terre-pleins des bajoyers des pierres isolées, dans lesquelles on creuse une demi-sphère, et l'on scelle des croisillons de fer pour accrocher les gaffes et amarrer les cordes des bateaux. Dans le même but, on encastre des organeaux à scellement sur les rives du couronnement des bajoyers.

Pour empêcher les bateaux de frapper les portes d'amont en arrivant, ou celles d'aval par la chute de l'eau des ventelles, on engage aussi des poteaux en bois ou en fonte sur les terre-pleins des bajoyers et autour desquels on enroule une corde jetée du bateau; enfin, dans les traversées des villes, comme par exemple à Paris au canal Saint-Martin, on a établi contre les bajoyers du sas des échelons verticaux en fer, afin de donner le moyen de remonter aux personnes qui seraient tombées dans le sas, et de faciliter d'ailleurs les visites et réparations des écluses.

Les terre-pleins des bajoyers, dans les écluses isolées, sont de niveau avec les chemins de halage du bief amont; mais à raison de la chute des écluses, il faut des rampes

pour raccorder ces chemins avec ceux du bief inférieur. Ces rampes peuvent commencer à la tête d'amont de l'écluse, ou vers le milieu de la longueur, ou à la tête d'aval. Dans les deux premiers cas, elles laissent plus haut qu'elles les *terre-pleins riverains* des bajoyers; l'on garantit alors la partie découverte de ceux-ci par des murs ou perrés, et
Pl. 86. Fig. 422. l'on accède à leurs plates-formes par des rampes horizontales ou par des escaliers établis près du mur en retour de la tête de la chambre d'écluse d'aval. Dans le troisième cas, on prolonge les perrés du bief aval jusqu'à la crête rampante du raccordement incliné.

La figure 422 des planches indique aussi l'un des systèmes de raccordement de terre-pleins employé pour les écluses à sas accolés.

Maisons d'éclusier. Lorsque les écluses sont rapprochées, on n'a qu'un seul éclusier et qu'une seule maison d'éclusier pour deux écluses; on la construit au milieu du terre-plein des bajoyers ou au sommet des rampes qui s'y rendent. Leur construction très-simple ne doit pré-
Pl. 90 Fig. 449. senter que deux chambres, un four, un caveau, un petit grenier, et quelquefois un magasin pour bois, cordages, clous et autres objets nécessaires aux opérations.

Système d'exécution des écluses. La construction des écluses et de leurs fondations est assujettie aux règles générales qu'on a présentées dans la treizième leçon; mais cette construction doit de plus s'opposer aux filtrations de l'amont à l'aval, surtout dans les écluses à grande chute et dans les écluses à sas accolés. On a déjà indiqué sommairement, pour les écluses de navigation en rivière, les moyens de satisfaire aux conditions ci-dessus.

Sur un terrain de rocher qui ne présente aucune fissure, on pourrait se dispenser de maçonner le radier et se borner à enraciner dans le rocher, sur $0^m,70$ à 1 mètre de profondeur, les fondations du mur de chute, celles des bajoyers et murs en retour de la chambre d'amont et d'aval, afin d'intercepter les communications de l'eau. Mais si le rocher est fissuré, cette précaution ne suffit plus, et les radiers maçonnés doivent avoir l'épaisseur correspondante aux charges d'eau habituelles de bas en haut quand le sas est vide, et de haut en bas quand il est plein pour le passage des bateaux.

Si le sol est résistant mais affouillable, il faut battre des rangées de palplanches aux deux têtes amont et aval de l'écluse, et même quelquefois sous le busc. Il faut de plus établir les maçonneries sur une aire générale en béton qui présente en dessous des re-
Pl. 90. Fig. 450. liefs ou *tenons* nombreux transversalement à l'axe de l'écluse, particulièrement aux têtes et sous le busc, pour interrompre la marche des eaux entre le dessous du béton et le dessus du terrain. C'est le système proposé pour l'écluse de jonction du canal latéral de la Loire avec cette rivière.

Si le sol est compressible, mais qu'à une certaine profondeur on puisse trouver le rocher et qu'on ne veuille pas fouiller jusque-là, il faut recourir aux pilotis en bois avec
Pl. 13. Fig. 86. grillages en bois; et peut-être même, si le terrain n'est pas perméable, employer les pilotis en sable essayés à Bayonne. (Voir la Notice sur les fondations en sable insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1835.)

Les piliers en sable pourraient être remplacés avec avantage, pour les terrains perméables, par des piliers en béton coulé dans le vide que laisserait le forage opéré avec

des pilotis en bois ; et alors le grillage serait lui-même remplacé par une aire unique en béton.

Dans l'emploi de pilotis *permanents* en bois avec grillage, il faut éviter qu'il y ait des pièces longitudinales dans le sens de l'axe de l'écluse, ou il faut au moins isoler leurs extrémités de l'eau des biefs, par des enveloppes en maçonnerie de béton. Les rangs transversaux de palplanches sont d'ailleurs nécessaires ici comme dans les terrains précédents.

Si le terrain est compressible à une profondeur presque indéfinie, mais qu'il soit en même temps homogène, on peut lui donner une résistance artificielle : 1° en le chargeant d'un poids beaucoup plus considérable qu'il n'aura à supporter, et en disposant les travaux de manière qu'il n'y ait pas de lacunes entre la charge d'essai et la charge permanente ; 2° en le comprimant par le battage en petits pieux déjà indiqué précédemment. Mais les rangées de palplanches transversales ne suffisent plus alors pour empêcher l'isolement de l'enceinte de fondation des terrains environnants, et il faut de plus deux rangées de palplanches longitudinales ou même de pieux jointifs sur les rives de l'écluse. Pour prévenir les filtrations, les rangs transversaux de palplanches doivent dépasser de beaucoup les rangs longitudinaux, et l'aire générale en béton, qu'on étendrait sur l'enceinte, aurait besoin d'une grande épaisseur et de nombreux redans en dessous. Pl. 90. Fig. 451.

Si le terrain est inégalement résistant ou compressible et à une profondeur indéfinie, ce qui est le cas le plus compliqué, il faut y déterminer l'égalité de résistance par des charges et des battages de pieux de compression convenablement répartis ; renforcer également l'aire de béton et l'asseoir sur de doubles grillages en bois, en ayant toujours soin d'isoler ceux-ci de l'eau par des enveloppes en maçonnerie de béton.

Exécution des écluses par batardeaux ou par caissons.

L'exécution des écluses peut se faire également par batardeaux ou par caissons, et ces batardeaux peuvent être en terre, en bois ou en béton ; les caissons peuvent être foncés ou non foncés.

Le système de fondations sur caissons foncés ou non foncés exige que déjà le bief où l'écluse doit être construite soit plein d'eau et étanché, et qu'il présente des gares pour la construction et l'échouage de la charpente flottante. L'échouage d'un caisson foncé, malgré tous les soins possibles, peut laisser des vides entre le dessous de la charpente et le terrain naturel ou l'assiette de fondation. Les bois mêmes de cette charpente peuvent servir de conducteurs d'eau. (Voir, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, l'historique de la fondation sur caissons de l'écluse de Froissy.) Il faudrait donc n'employer que des caissons non foncés ; mais ceux-ci ne remédieraient pas aux sources de fond, et ne feraient que l'office d'un batardeau ordinaire, lequel serait beaucoup moins dispendieux.

Le système qui paraît mériter la préférence dans un terrain où il y a des épuisements considérables à faire, et dans lequel le mode de fondation adopté consiste dans une aire en béton, c'est, comme on l'a fait au canal du Rhône au Rhin (figures 450 des planches),

Pl 90. Fig. 430. de couler cette aire sous l'eau, et d'y joindre des corroia verticaux en béton qui fasseut partie ultérieurement des maçonneries des bajoyers, enclaves, murs en retour, etc. Alors il n'y a plus à démolir après l'achèvement de l'ouvrage que les parties correspondantes aux deux têtes de l'écluse, si toutefois on n'avait pas jngé préférable de les exécuter en batardeaux ordinaires.

Cette espèce de caisse en béton doit présenter d'ailleurs un poids capable de faire au moins équilibre à la charge d'eau en contre-bas, et par sa masse totale et par la résistance de sa paroi horizontale.

Ce système de fondation a été l'objet d'observations fort importantes que MM. les ingénieurs Beaudemonlin, Charrié, Mary et Barré-Saint-Venant ont consignées dans des mémoires publiés isolément ou insérés dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1833.

Effet des sources de fond. M. l'ingénieur en chef Beaudemoulin a le premier, dans un mémoire publié en 1828, sous le titre de *Recherches théoriques et pratiques sur les fondations des ouvrages hydrauliques*, signalé les effets des sources de fond très-énergiques qui, retenues par la compression du terrain, étaient mises à nu par les tranchées des fouilles, et alimentaient, *sans mouvements apparents*, la nappe d'eau intérieure, déjà en communication avec lea sources ordinaires.

Pl 91. Fig. 432. Partant de ce principe que, dans un terrain sillonné par des fissures, l'eau s'échappait toujours par la voie où elle rencontrait le moins d'obstacles, M. Beaudemoulin a indiqué, comme moyen de se débarrasser de ces sources de fond dans les terraina ordinaires, le creusement, à l'extérieur de l'enceinte, de puits que par analogie il a appelés puits *artésiens*. Ces puits, surtout si on y appelle l'eau par l'aspiration d'une pompe, servent de débouché aux sources de fond.

Pour, les terrains crayeux où les fisaures souvent ne communiquent pas entre elles, cet ingénienr indique d'antres modes d'appel des eaux dana le mémoire qu'on a cité.

Si l'on ne parvient pas à dévier à l'extérieur les sources du fond, il peut arriver qu'elles se fassent jour par une foule de petits tuyaux à travers les maçonneries de fondation, et qne ces tuyaux deviennent en même tempa des conducteurs d'eau du bief aupérieur.

Divers moyens ont été proposés pour remédier à cet inconvénient extrêmement grave. Un des plus efficaces paraît être l'immersion, préalable au bétonuage, de plusieurs couches de toile imperméable que l'on force à se mouler en qnelque sorte sur les reliefs et creux du terrain à l'aide de rouleaux ou autres appareils. On laisse de plua, sous les maçonneries du radier et même des bajoyers, de petits conduits ramifiés convenablement, *munis d'évents* pour l'air et l'eau. Ces conduits communiquent avec les surfaces apparentea du radier par des tuyaux verticaux, dana lesquels on jette, après l'achèvement de l'écluse, du mortier liquide avec une pompe foulante. Cette injection s'opère d'après le système imaginé par M. Bérigny, inspecteur général des ponts et chaussées, et décrit précédemment.

Les remblaia en arrière des maçonneries des écluses exigent une terre argileuse et

liante, damée par petites couches, mais avec des pilons *fortement dentelés*. Pour qu'elle se lie mieux aux maçonneries encore fraîches, il faut élever les remblais en même temps que celles-ci.

Ponts fixes ou mobiles sur les canaux.

Les canaux interrompent beaucoup de communications de routes royales, départementales, et surtout vicinales et rurales ; de là la nécessité d'un grand nombre de ponts qui sont généralement d'une seule travée, et présentent un débouché suffisant pour le passage des bateaux les plus chargés en hauteur. On donne en conséquence aux ponts, indépendamment du passage pour les chemins de halage, la même largeur minimum entre les culées que celle de l'écluse augmentée de 50 centimètres à 1 mètre, et la même hauteur de $3^m,50$ près des culées, au-dessus de l'eau, qu'aux passages souterrains. Au canal Saint-Denis, on a même porté cette hauteur à 6 mètres.

Il est de beaucoup préférable pour la navigation que les chemins de halage et marchepieds soient sous l'arche unique du pont, sauf à les réduire, l'un à 1 mètre, l'autre à 2 mètres, que de contourner ces ponts.

Pl. 86. Fig. 432.

S'il devait en résulter une dépense considérable pour le pont, et surtout un exhaussement impraticable dans certaines localités, l'on serait forcé d'établir, outre les deux rampes d'accès pour la route ou le chemin jusqu'au pont, lesquelles seraient transversales au canal, quatre rampes longitudinales au canal pour les raccordements des deux premières avec les chemins de halage et marchepieds de chaque rive, entre les biefs d'amont et d'aval. Pour diminuer la dépense de ces rampes et éviter les reliefs qu'elles élèvent dans les plaines riveraines d'un canal, on a proposé de se borner aux simples rampes de raccordement longitudinales des chemins de halage et de marchepieds, mais en les élargissant pour le passage des voitures, dans le coude brusque qu'elles ont alors à franchir aux abords du pont. Dans ce système, les routes et chemins sont déviés de manière à aboutir au pied des rampes longitudinales en question. Pl. 91. Fig 433.

La largeur de la voie des ponts est réglée d'ailleurs d'après les mêmes conditions que celle des ponts sur les rivières.

On a déjà dit qu'il pourrait y avoir de l'économie à placer les écluses dans le croisement du canal par les chemins existants, ou à dévier légèrement ces derniers pour les faire aboutir à l'écluse en aval des portes d'aval. On profite ainsi des murs d'épaulement de ces portes qu'on prolonge au besoin. Le pont est alors élevé au-dessus des terrains environnants de toute la hauteur de la chute de l'écluse ; mais cette position des ponts gêne la manœuvre des portes et celle des bateaux.

Quand elle n'est *pas possible*, il vaut mieux isoler entièrement les ponts et l'écluse pour que les bateaux puissent être manœuvrés plus aisément à la sortie de cette dernière.

Ces ponts s'exécutent d'ailleurs comme les ponts sur rivières, en maçonnerie, avec charpente fixe en bois, en fer, et même peuvent être suspendus.

Quand la dépense d'un pont fixe et de ses abords, y compris l'entretien et le renouvellement, est plus forte que la dépense analogue d'un pont mobile augmentée du capital représentatif du salaire d'un pontonnier, ou bien quand les localités s'opposent entière-

ment à l'établissement d'un pont fixe, l'on a recours aux ponts mobiles dont il a été question dans un chapitre précédent. Il est également avantageux de les placer sur les épaulements d'aval des écluses, parce que l'éclusier peut aider à leur manœuvre et que le même logement peut réunir deux agents. Ordinairement on préfère les ponts-levis en ayant égard, dans leur construction, à la hauteur des voitures de campagne chargées de récoltes.

Il est utile aux abords des ponts isolés, fixes ou mobiles, de réserver dans leurs culées comme dans les bajoyers des écluses : 1° des feuillures pour recevoir les poutrelles en cas de répararation des ponts et des biefs qu'ils traversent; 2° des organeaux pour faciliter les manœuvres des bateaux.

*Rencontres d'un canal et de cours d'eau qui se croisent.*

Un canal placé sur le revers d'un coteau ou traversant des vallons rencontre des cours d'eau d'importauce diverse et qui forcent de prendre l'un des partis suivants :

1° Faire passer le cours d'eau par-dessus le canal ; 2° faire passer le canal par-dessus le cours d'eau ; 3° faire traverser le caual par le cours d'eau, ou établir la navigation à travers le cours d'eau.

Cours d'eau passant par-dessus les canaux. Ce mode est très-praticable quand les cours d'eau, encore peu éloignés de leura sources, ont de fortes pentes, charrient des sables, graviers et troubles, et sont sujets à de fortes crues. On ne pourrait en effet admettre ces eaux étrangères dans le caual sans s'exposer à de prompts atterrissements et sans porter des perturbations graves dans le système de la navigation. On ne pourrait non plus, dana beaucoup de cas, les faire passer en dessous, à moins de relever beaucoup le canal et de laisser un débouché considérable au cours d'eau transversal; car il arriverait sans cela que le canal ferait l'effet d'un barrage, qu'il y aurait des submersions considérables sur un de ses côtés, et que lui-même serait exposé à des avaries très-graves.

Ponts aqueducs. L'ouvrage par lequel on conduit des eaux transversales au-dessus d'un canal se nomme pont-aqueduc. Il a beaucoup d'analogie avec les viaducs dont il a été question plus haut. Toutefois ici les chemins de halage et marchepieds du canal doivent nécessairement être conservés sous le pont-aqueduc; car les levées des bords de la rivière interrompent complétement la communication entre les biefs supérieur et inférieur du canal. Ces chemins peuvent être aussi, au reste, réservés le long du canal ou déviés pour passer sous des arches marinières, comme dans les ponts ordinaires en maçonnerie. (Pl. 91. Fig. 434.)

Au-dessus des voûtes ou travées en bois ou en fer du pont-aqueduc, il faudra donc, au lieu de la voie ordinaire d'une route, établir une voie d'eau dont la pente et la section dépendront du maximum du volume des eaux à conduire, et des besoins du flottage ou de la navigation, lorsque le cours d'eau sera flottable ou navigable. Sur les rives il y aura à ménager, soit des marchepieds d'au moins $0^m,80$ de largeur avec parapets, soit des chemins de halage de 2 à 4 mètres, suivant que cette opération sera confiée à des

hommes ou à des chevaux. Toutefois on pourrait au besoin renoncer à ces chemins en faisant touer les bateaux du cours d'eau navigable pendant la traversée du pont-aqueduc.

Pour la prompte évacuation des crues, il sera utile d'établir un déversoir de superficie ou de ventellerie de fond sur le cours d'eau avant ou après la traversée du pont-aqueduc, et à une distance du canal telle, que les eaux des crues évacuées ne puissent, par leur écoulement, causer des avaries aux ouvrages du canal.

Il est du reste économique, quand cela est possible, de placer les ponts-aqueducs comme les ponts fixes sur les murs d'épaulement des écluses.

La principale difficulté des ponts-aqueducs consiste dans l'imperméabilité de l'encaissement de la voie d'eau. Si le volume d'eau à conduire est faible, on peut se servir de tuyaux fermés en fonte de fer, plomb, zinc, poteries, etc.; mais si l'on est forcé de l'exécuter sur une grande dimension et à découvert, alors des parois en maçonnerie ou en fonte de fer deviennent indispensables, et la condition essentielle est d'éviter des tassements qui détermineraient des fissures, et les dégradations que les infiltrations par ces fissures causeraient dans les arches en maçonnerie, travées en bois, etc., etc.

Si le canal est très-relevé relativement aux cours d'eau, de manière qu'on ne soit pas forcé de trop restreindre leur pente et qu'on n'ait rien à redouter de leurs crues, on conduit les eaux sous le canal. Lorsqu'il ne s'agit que de faibles ruisseaux qui ne charrient pas de troubles, on peut les diriger en pente sous le fond du canal, et même en arasement avec ce fond, comme au canal Saint-Martin, à l'aide de tuyaux en bois, en fonte de fer, plomb, zinc, poterie ou maçonnerie, et en suivant les procédés indiqués pour ce genre d'ouvrages.

Cours d'eau passant sous les canaux.

Pl. 91. Fig. 455.

S'il est impossible de diriger la conduite d'eau en pente sous le canal, on l'établit, comme au canal du Midi, à *siphon et contre-pente*. L'entrée de ces siphons est alors dans le contre-fossé d'eau des rives du canal, et leur sortie dans le contre-fossé de l'autre rive : mais ces siphons sont difficiles à visiter et réparer; ils s'engorgent et ne peuvent se nettoyer. Leur emploi doit être limité à des eaux limpides naturellement, ou clarifiées dans les contre-fossés avant leur passage dans le siphon.

Pl. 91. Fig. 456.

Pour les cours d'eau plus considérables, il faut établir le canal sur un *pont-canal*, dont la grandeur, l'importance et la dépense de construction dépendent de la largeur, de la profondeur, du régime de la rivière à traverser. Ce genre d'ouvrage réunit dès lors toutes les difficultés que peut offrir un pont ordinaire avec celles spéciales du pont-aqueduc, dont il a été question tout à l'heure. Même l'imperméabilité de l'encaissement de la voie d'eau dans un pont-canal est commandée par un motif de plus, celui de ne pas perdre l'eau nécessaire à la navigation sur le canal.

Ponts-canaux.

La voie d'eau ou cuvette, pour un pont-canal, est d'ailleurs restreinte à la largeur d'un seul bateau, et en général à 30 à 40 centimètres de plus que la largeur de passage des écluses. Suivant que l'on aurait ou non un chemin de halage sur les deux rives pour hommes et pour chevaux, ou seulement un marchepied pour hommes, il faudrait ajouter 2 à 3 mètres, ou seulement 1 mètre de chaque côté de la cuvette.

Si le pont-canal est en maçonnerie, la cuvette ne doit être construite qu'après le décintrement, et lorsque les maçonneries ont pris tout leur tassement. Sous cette cuvette une chape en béton est indispensable ; et même on a quelquefois, dans les reins des voûtes, Pl. 91. Fig. 457. réservé de petits aqueducs pour évacuer l'eau des infiltrations. La figure 457 des planches représente les nouveaux ponts-canaux sur l'Allier et sur la Loire à Digoin, exécutés avec le plus grand succès par M. l'ingénieur Julien.

L'un présente dix-huit, l'autre onze arches de 16 mètres d'ouverture sur 7 mètres de flèche. (Voir la Notice sur les maçonneries de ces ouvrages insérées aux *Annales des ponts et chaussées*.)

Le pont-canal sur l'Allier a une longueur totale de 405 mètres sur 9$^{m}$,50 de largeur, ou 3847$^{m}$,50, dont la distance verticale au lit de la Loire est de 12 mètres, ce qui donne 46170 mètres cubes en espace *occupé*.

La dépense totale a été de 3 millions, y compris trois écluses à sas accolés sur la culée gauche du pont, ce qui correspond :

| | | |
|---|---|---|
| Par mètre courant à . . . . . . | fr. | 7,407 |
| Par mètre carré à . . . . . . . | » | 77 |
| Et par mètre cube d'espace à. . . . | » | 6 40 |

Le pont-canal de Digoin n'a que onze arches sur une longueur totale de 248 mètres, il est du reste semblable au précédent.

| | | |
|---|---|---|
| Il a coûté, y compris l'écluse de l'une des culées, | fr. | 1,200,000 |
| Ce qui correspond par mètre courant à . . . . . | » | 4,868 |
| Par mètre carré de voie à . . . . . . . . . | » | 51 20 |
| Et par mètre cube d'espace à . . . . . . . . | » | 4 30 |

Si la cuvette d'un pont-canal est elle-même en maçonnerie, des couches de béton seront nécessaires également à l'intrados ; et il sera préférable, pour éviter les tassements inégaux et les filtrations, d'exécuter les parements de la cuvette en petits matériaux rejointoyés et même enduits en plâtre-ciment ou mastic bitumineux. Il est essentiel d'ailleurs d'introduire l'eau le plus vite possible dans la cuvette, pour éviter les effets de la dessiccation trop rapide, surtout en été.

Pl. 92. Fig. 458. Les figures 458 représentent la rencontre d'un chemin empierré, d'un canal et d'un chemin de fer au canal de Birmingham et de Bristol.

Ce travail remarquable a été exécuté pour la somme de 192,000 francs.

En Angleterre, la cuvette d'un pont-canal a été souvent exécutée avec des plaques de fonte réunies à boulons et rivets, dont les joints étaient garnis de l'une des manières suivantes : en cuir graissé, en petites tringles de sapin, en plomb, et en mastic de limaille de fer (16 parties de limaille de fer, 1 de sel ammoniac du commerce, 1 de fleur de soufre). Ce genre de cuvette a été appliqué surtout à des ponts-canaux dont les voûtes Pl. 92. Fig. 459. étaient d'ailleurs en bois ou en fonte de fer, et notamment à ceux de Chirk, de Pont-Cisylty et de Longden en Angleterre.

Le premier de ces ponts-canaux se compose de dix arches en plein cintre de 11m,75 avec piles de 3m,65 d'épaisseur, et présente une longueur totale de 191 mètres sur 5m,60 de largeur entre parapets ; la différence du niveau du chemin de halage du canal et du niveau riverain est de 19m,80.

| | |
|---|---|
| Les aqueducs ont coûté . . . . . . . . . . . | fr. 541,000 |
| Ou par mètre courant. . . . . . . . . . . . | 2,830 |
| Par mètre carré de voie . . . . . . . . . . . | 509 |
| Par mètre cube du produit de cette voie par la distance verticale au terrain. . . . . . . . . | 25 |

L'aqueduc du pont Cysilty se compose de 19 arches en fonte de 13m,70 d'ouverture, avec piles de 2m,13 de largeur au sommet ; la longueur totale est de 305 mètres sur 3m,66 de largeur, ce qui donne une surface de voie de 1,116 mètres carrés, dont la distance verticale au terrain est moyennement de 30 mètres.

| | |
|---|---|
| La dépense totale a été de. . . . . | fr. 1,335,310 |
| Ou par mètre courant . . . . . . | 4,380 |
| Par mètre carré de voie. . . . . . | 1,199 |
| Par mètre cube du produit de cette voie par la distance verticale au terrain . | 40 |

Feu M. Navier, dans son Mémoire sur les ponts suspendus, a indiqué aussi l'application de ce genre d'ouvrages aux ponts-canaux et pour supporter une cuvette en fonte. Mais les oscillations de toute espèce que le passage des hommes et des chevaux, le vent et les changements de température provoquent, peuvent faire craindre des déliaisons dans les joints des plaques en fonte, et des filtrations d'eau très-graves et très-difficiles à arrêter.

Aux États-Unis, où le bois est à bas prix, l'on a exécuté des cuvettes en bois, en deux pans de bois croisés et calfatés, et sur des travées de ponts également en bois ; mais la surface des bois exposés à l'air, étant saturée d'eau par l'imbibition du côté de la cuvette, doit se gercer profondément et être hors de service en peu d'années ; son renouvellement est donc une cause d'interruption fréquente dans la navigation.

Quand les cuvettes sont en fonte, les chemins de halage et marchepieds peuvent être établis en planches sur des consoles en encorbellement, faisant partie des plaques de fonte ou reliées avec elles.

Pour éviter les effets de la gelée de l'eau stagnante d'un pont-canal et de l'eau vive d'un pont-aqueduc, on peut pratiquer dans la longueur, et sur les rives du niveau de l'eau, deux tuyaux conducteurs d'air chaud ou de vapeur d'eau, et placer les foyers d'alimentation aux têtes du pont.

Cours d'eau passant à travers les canaux.

Les ponts-aqueducs, outre les difficultés et les dépenses de leur exécution, obligent souvent à tenir le canal trop bas et à descendre pour remonter ensuite ; des crues extraordinaires dans les eaux conduites par cet ouvrage peuvent, en s'épanchant par-dessus

la cuvette, déverser sur les terrains inférieurs et causer des dommages considérables dans les propriétés privées et dans le canal, dont elles interrompraient la navigation. Si le cours d'eau est flottable et navigable, sa traversée par le pont-aqueduc sera une gène permanente.

Ce dernier est d'ailleurs un long coursier où le halage pour la navigation du canal est bien plus difficile que dans les biefs ordinaires; et malgré les gares de stationnement qu'on place ordinairement près des denx têtes, il y a nn retard sensible dans le trajet. Enfin les ponts-aqueducs et les ponts-canaux ont en commun l'inconvénient d'isoler la navigation artificielle de la navigation naturelle.

On pent donc être conduit par ces diverses considérations à leur préférer, suivant les sujétions générales de la navigation et celles des localités, la traversée dn canal en rivière ou l'introduction des eaux de la rivière dans le canal. Mais il y aurait à opter entre les inconvénients que l'on vient de signaler dans les ponts-aqueducs et les ponts-canaux, et ceux qui sont attachés à la traversée en rivière.

Les principaux sont : d'obliger le canal de descendre sur une rive pour remonter sur l'autre; de présenter sur chaque rive des éclnses de navigation submersibles dont il a été déjà question, et qui doivent pourvoir à tons les effets des dénivellations entre le niveau des eaux dans le canal et dans la rivière; d'exposer la navigation sur le canal, s'il y a des crues, à toutes les interruptions que les crues causent dans la navigation de la rivière; et de plus si celle-ci ne présente pas à l'étiage une profondeur d'eau snffisante, il faudra la réaliser par les moyens qui ont été indiqués dans le chapitre relatif à l'amélioration de la navigation sur les rivières.

Système ingénieux employé au canal du Midi pour la rencontre du torrent du Libron.

Le passage des cours d'eau dans le canal n'est guère applicable que dans les localités où la navigation sur le canal est peu active, et aux cours d'eau qui ne sont ni navigables ni flottables, ou du moins qui ont peu d'importance sous ce rapport. Si ces derniers sont torrentiels et charrient des troubles, il est essentiel qu'il n'y ait pas de mélange avec les eaux dn canal.

An canal du Midi, pour faire passer le torrent du Libron, l'on a imaginé un système très-ingénieux : on se sert d'une espèce de barqne pontée que, pendant les crues dn torrent, l'on échone sur le canal dans la direction du torrent. Les parois de cette barque, transversales à l'axe du torrent, sont à charnières et se rabattent dans le plan de son lit; tandis que les parois longitudinales qui barrent le canal et dépassent le niveau des eaux restent debont. Quant la crue est passée, on relève les parois rabattues, on remet la barque à flot, et elle est remisée dans nne gare latérale du canal, dont la navigation, interrompne ainsi momentanément, reprend alors son conrs. La position invariable de la barque est assurée par des murs en maçonnerie qui sont au croisement des rives du torrent et de celles dn canal. (Pl. 92. Fig. 460.)

(Pl. 92. Fig. 461.) Dans le département de l'Aube, M. l'ingénieur en chef Nazeret avait établi, à la rencontre du canal d'Anglure avec la *noue* dn Liron servant à l'écoulement des eaux d'inondations, nn système représenté dans les fig. 461 des planches. Il consiste :

1° A isoler à volonté le canal de la noue du Liron, par deux jeux de portes contre-busquées, placées à travers du canal, l'un à l'amont, l'autre à l'aval du point de croisement;

2° A empêcher les eaux du canal de se répandre dans cette noue, par deux déversoirs ou épanchoirs de superficie à l'amont et à l'aval du même point de croisement. Cette combinaison, qui arrête les troubles en deçà de l'épanchoir, est applicable toutes les fois que le cours d'eau du canal n'est ni navigable ni flottable.

On a substitué aux combinaisons précédentes, et notamment au canal de Beaucaire, pour le passage du torrent de Vidourle, un autre système d'une application plus générale, nommé *écluse carrée*, qui a probablement été imité de l'écluse ronde d'Agde au canal du Midi. Écluses dites carrées.

Il consiste à établir dans le plan du croisement du cours d'eau et du canal : 1° deux écluses simples ou à sas, fermées par des vannes, poutrelles ou portes busquées placées chacune sur les rives du canal et en travers du cours d'eau, et ayant pour objet, comme le représentent les figures 462 des planches, d'empêcher les eaux du canal de s'épancher dans le lit du cours d'eau lorsqu'on veut interrompre momentanément celui-ci pour le passage du canal; 2° deux autres écluses simples ou à sas, fermées de la même manière, placées en travers du canal dans l'alignement des rives du cours d'eau, et ayant pour objet d'empêcher ce dernier de pénétrer habituellement dans le canal. Pl. 92. Fig. 462.

On voit que cette combinaison exige que les berges du cours d'eau soient très-encaissées, afin qu'il n'y ait pas de submersion riveraine lorsqu'on interrompt le passage des eaux *vives* pour le passage des bateaux du canal.

Les biefs d'un canal reçoivent l'eau par des rigoles alimentaires artificielles et des affluents naturels qui interrompent le chemin du halage, et exigent des passerelles transversales en bois ou des ponceaux en maçonnerie. C'est ordinairement à la tête de ces ponts qu'on place, ou le reversoir par lequel les eaux affluentes doivent déverser dans le canal, ou les ventelles et poutrelles destinées à faire entrer à volonté ces eaux par *le fond*. Le premier moyen, celui des reversoirs, paraît préférable pour des affluents naturels dont les eaux charrient des troubles, parce que ceux-ci se déposent avant la jonction; mais lorsqu'il faudrait après les chômages remplir les biefs, il y aurait une chute d'eau sur le fond du canal, et contre laquelle il faut se précautionner, comme il a été dit pour les barrages en général. Ouvrages pour faire entrer l'eau dans les biefs d'un canal, l'en faire sortir ou l'y retenir. Pl.93 et 94. Fig. 465.

Une ventellerie ou des poutrelles horizontales faisant fonctions de *reversoirs* pour l'introduction de l'eau habituelle lorsque les biefs sont pleins, et qui feraient entrer l'eau de fond quand les biefs seraient vides, semble le meilleur système à adopter. Une ventellerie force de se restreindre à des largeurs d'environ 1m,30 pour les passages d'eau; tandis que des poutrelles s'appliquent à des largeurs de 8 mètres, et ont été employées même jusqu'à 12 mètres.

Il faut qu'on puisse vider un bief pour les réparations; il faut aussi que les eaux n'y dépassent pas un certain niveau malgré les effets des pluies ou les crues des affluents

d'eau. De là, la nécessité dans chaque bief, ou dans les biefs inférieurs d'une zone plus ou moins étendue, d'avoir des moyens d'évacuation d'eau par le fond et par la surface, ou susceptibles de remplir à la fois ces deux objets. Un canal de fuite, placé à la suite des ouvrages d'art, devra conduire les eaux dans le thalweg des vallées voisines; et ce canal sera franchi par le chemin de halage et marchepied à l'aide de passerelles en bois ou de ponceaux en maçonnerie. Autant que possible, et pour que ce canal n'ait pas une pente trop rapide, il faut placer son origine amont à l'origine des remblais du canal. S'il y a des aqueducs à siphon ou autres qui passent sous le canal, il est évident qu'on peut les utiliser pour l'écoulement des eaux à évacuer.

Une ventellerie ou un barrage à poutrelles horizontales convient encore le mieux pour cette évacuation, parce qu'ils peuvent servir et pour les évacuations spontanées des crues et pour mettre facilement les biefs à sec; mais dans l'établissement de ces ouvrages, il faut avoir soin : 1° du côté du canal, à ce que l'affluence des eaux ne dégrade
Pl. 93 Fig. 464. pas les rives, en se portant sur leurs points de jonction avec les maçonneries ou parois fixes de la ventellerie des poutrelles; 2° du côté du canal de fuite, que la chute des eaux ne soit pas trop élevée, qu'elle soit morcelée par gradins, qu'il y ait des murs en aile pour soutenir les terres des digues du canal, et un radier avec arrière-radier en maçonnerie, et mieux en bois, pour prévenir les affouillements.

Si l'on exécute pour l'écoulement des eaux surabondantes des déversoirs sur les rives des biefs, ils devront pour leur hauteur, leur largeur, leurs formes et mode de construction, satisfaire aux conditions indiquées précédemment pour les barrages en rivière.

Déversoirs-siphons du canal du Midi.

L'ingénieur Garipuy a imaginé et exécuté au canal du Midi un déversoir à siphon qui est à la fois déversoir et épanchoir de fond, mais qui est d'une construction compliquée, d'une réparation difficile et ne débite que peu d'eau. Il est composé de deux branches : l'une, plus courte, débouche dans le canal près du fond; l'autre, plus longue, aboutit extérieurement au contre-fossé ou canal de fuite. Ces deux branches sont réunies par une courbe circulaire tangentielle.

Le jeu de ce déversoir est dû à un tuyau horizontal de *ventouse*, placé dans la branche du siphon qui plonge dans le canal, et communiquant avec le canal un peu au-dessous des eaux ordinaires de la navigation. Cette première branche du siphon ne s'élève au-dessus du plan de la ventouse en question que d'environ un décimètre, c'est-à-dire d'un peu plus que la hauteur intérieure du vide dans le coude du siphon; en sorte que le plan inférieur de la ventouse, par cette disposition, est presque tangent à la courbe inférieure qui lie les deux branches. Dans cet état de choses, il est évident que lorsque les crues font élever les eaux au-dessus du niveau ordinaire, les eaux atteignent la courbe inférieure; et cet ouvrage fait fonction de déversoir de superficie, jusqu'à ce que le niveau de l'eau, en s'élevant, atteigne la courbe supérieure qui lie les
Pl. 94 Fig. 465. deux branches et remplisse entièrement le vide formé par le coude du siphon. Alors l'air extérieur qui restait dans le coude étant chassé par l'eau qui a pris sa place, et ne pouvant y rentrer, puisque la ventouse est immergée et que toute la capacité du siphon

est remplie d'eau, ce siphon fait nécessairement fonction d'épanchoir du fond. Cette dernière fonction continue jusqu'à ce que les eaux ayant baissé dans le canal, la ventouse est émergée; alors l'air rentrant dans le siphon, celui-ci redevient déversoir de superficie.

Le phénomène physique des fontaines intermittentes a probablement donné lieu à l'invention du déversoir à siphon : les causes d'écoulement et d'intermittence sont absolument les mêmes.

Une notice sur l'approvisionnement des eaux de la ville de Greenock en Angleterre, insérée par M. Ch. Mallet, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, donne la description de plusieurs appareils à mouvement spontané pour l'introduction et l'évacuation des eaux, lesquels seraient susceptibles d'être appliqués aux biefs et contre-fossés des canaux de navigation et à leurs rigoles alimentaires.

Afin de pouvoir, dans des biefs très-longs, en isoler une partie, on réserve ordinairement, et de préférence dans les piédroits des ponts fixes ou mobiles qui traversent le bief, des rainures pour y établir facilement et à volonté un barrage en pontrelles horizontales superposées, auquel on adosse au besoin un batardeau en terre.

En Angleterre, au canal du duc de Bridgewater, à la tête des ponts-aqueducs, à celle des souterrains et dans la longueur des parties en remblais, on a employé des portes dites *de sûreté*. Elles sont établies par paires, afin d'arrêter l'eau en sens opposé. A cet effet on les tient couchées et avec des pentes contraires. Chacune peut tourner sur un axe horizontal reposant sur le radier en maçonnerie.

Si une voie d'eau se manifeste, par exemple en aval, les eaux tendent à se porter plus vivement de ce côté et déterminent un courant à l'emplacement des portes. Ce courant soulève l'une des portes de sûreté, celle d'*aval*, et celle-ci en se redressant arrête l'écoulement des eaux.

A l'endroit où sont les portes de sûreté, le débouché est réduit à ce qui est nécessaire pour le passage d'un seul bateau.

---

## NOTE *M*.

### SIPHONS EN BOIS, EN MAÇONNERIE ET EN FONTE.

Lorsqu'un cours d'eau rencontre une masse liquide quelconque qu'il doit franchir sans s'y déverser, et lorsque les eaux se trouvent de part et d'autre à peu près au même niveau, on conduit celles du premier sous le lit de la masse à traverser au moyen d'un canal souterrain appelé *aqueduc en siphon*. Cette dénomination est fort impropre;

le phénomène qui se produit est celni des vases communiquants et nullement celni des siphons. Ce dernier cas n'a réellement lieu qne lorsque l'on veut prolonger un cours d'eau au delà d'un obstacle fixe, tel qu'une digue, sans percer d'outre en outre cet obstacle par un aqueduc ordinaire. Un exemple a déjà été donnée à la fig. 226, pl. 38. Un second est donné à la fig 949, pl. 188. Ce siphon, établi au fort Sainte-Marie dans le bas Escaut, marcbe fort bien depuis plusieurs années et peut être pris pour type. Les sipbons de ce genre se feront toujours en métal (fonte généralement), vu la difficulté qu'il y aurait à les amorcer s'ils étaient en bois on maçonnerie, matériaux jamais tout à fait imperméables à l'air. Ces sipbons véritables se composent d'une branche ascendante, d'une brancbe descendante et d'une partie intermédiaire an sommet. Cette dernière est composée de deux parties : l'une, parfaitement horizontale, correspond au mécanisme de l'appareil ; l'autre est faiblement inclinée vers le bas, afin que l'air qui parviendrait à s'introduire dans le tube soit forcé de remonter jusqu'au sommet, et d'entrer dans un récipient disposé en debors du courant.

La meilleure façon de construire le tube est de le composer de tuyanx réunis entre enx par des mancbons sur les parties droites, et par des collets boulonnés pour les angles. Tons ces assemblages doivent être bermétiquement fermés par des étonpes graissées, du mastic de limaille de fer et des rondelles en plomb, et pour plns de précaution, dans le cas où le siphon est enterré, on peut entourer les assemblages d'un bourrelet d'argile.

Aux extrémités des sipbons, l'on place généralement des cuvettes en tôle solidement cbaudronnées ; destinées à résister aux mouvements d'ébranlement et de trépidation de la colonne d'ean en monvement dans le siphon, on les assujettit fortement par des pilots et des traverses.

Ces cuvettes sont destinées à immerger constamment les deux orifices inférieurs du siphon, et à prévenir ainsi l'introduction de l'air dans le tube pendant les basses eaux. Elles sont couvertes par des grilles pour arrêter les corps flottants entralnés par le courant.

On surmonte les siphons dont nous parlons d'un mécanisme composé d'un grand robinet A, d'un récipient à air et à ean B, et d'une pompe aspirante C (fig. 950).

Le grand robinet a une section ouverte égale à celle du tube ; il sert à établir on intercepter la circulation du courant. Il est avantagenx de ne le mouvoir qu'au moyen d'un engrenage (fig. 951) qui a pour double but de faciliter la rotation du tampon et de ne lui permettre qu'un mouvement lent, favorable à la conservation des assemblages du sipbon ; si l'on se passe de cet engrenage, il pent se faire qne, par la maladresse ou la négligence du préposé à la manœuvre, le courant fût brusquement arrêté au moment d'une grande vitesse de circnlation de l'eau ; la colonne liquide contenue dans le tube, formant une masse assez considérable, produirait alors un effet analogue à celni de bélier hydraulique, et anrait pour conséquence la rupture des sondures des tuyaux. La lentenr dn monvement de l'engrenage rend ces accidents impossibles.

La constructioo de grands robinets, comme peuvent en nécessiter les siphons, présente des difficultés matérielles d'exécution qni occasionnent d'ordinaire des fuites on des suçoirs par la surface coniqne du joint. Cela provient de ce que les deux grandes surfaces coniques de frottement concave et convexe du noyau et du crenx ne peovent être alésées et tournées suivant des formes rigoureusement mathématiques et semblables, et que le contact n'est jamais parfaitement intime sor toute leur étendue.

Le meillenr moyen de parer à cet inconvénieot est de monir le robinet de l'appareil de compressioo dessiné à la fig. 951. Le tampon et le renfort du tnyau, à l'emplacement du robinet, sont reconpés et ajnstés, haut et bas, dans deox plans perpendiculaires à l'axe de rotation du tampon; sur les deux surfaces planes ainsi formées, on comprime, sur le joint circulaire dn tampon, de larges rondelles de chanvre graissé, au moyen de deux plaques en fonte réunies par des boulons.

Malgré les soins les plus minutieux, les assemblages des différentes parties d'un tube assez long ne sont jamais parfaites; les plus petites imperfections deviennent sensibles à la longue; de plus, l'eau renferme de l'air en solution; il est donc impossible d'empêcher d'nne manière complète l'introduction de l'air dans le tube; les bulles se réunisseot au sommet et diminuent la grandeur de la section d'écoulement; elles peuvent même, par leur agglomération, reduire à néant cette section. Pour éviter cette diminution de section, l'on place au-dessns de la partie la plus élevée du tube un récipient en communication avec lui; ce récipient, rempli d'eau en même temps que le tnbe, recueille les bnlles sans que la section d'écoulement diminue. Il est muni d'un flotteur avec aiguille indicatrice se mouvant daos un tube en verre; l'on peot toujours connaître ainsi le moment où il faut songer à expulser l'air.

Afin de mettre un siphon en activité, il faut chasser l'air conteno dans le tube, ce qui permet à l'eau d'entrer et de rester snspendue dans les branches de l'appareil.

Dans les petits siphons à faible section, cette opération n'offre aucune difficulté; on bouche les deux orifices inférieurs par des tampons provisoires et on charge par le sommet; ensuite on ferme hermétiquemeot l'ouverture du baut, on enlève les tampons et l'appareil fonctioone. Pour les siphons plus forts, il ne peut en être ainsi; la qnantité d'eau à introduire est trop considérable, et l'opération précédente demande un temps assez long; le placement des tampons devient trop difficile et même impossible, si l'orifice se trouve à une profoodeur d'eau un peu grande. Enfin si le siphon est permanent et qu'il ne doive servir qu'à de rares intervalles, il est probable qu'il faudra répéter l'opération du chargement chaque fois qne l'on voudra faire travailler le sipbon.

On évite ces inconvénients en installant une pompe aspirante ou poeumatique an-dessus du récipient; elle permet d'enlever l'air chaque fois qne l'aiguille do récipient viendra en indiquer le besoin. Il est presque inotile d'ajouter que poor cette pompe il faodra employer un piston cylindriqne glissant dans une boîte à bourrage, sem-

blable au système employé pour l'introduction de l'eau dans les chaudières à vapeur travaillant à haute pression.

Revenons maintenant aux ouvrages qui ont reçu le nom impropre d'*aqueducs-siphons*.

Ces ouvrages, auxquels il ne faut avoir recours que dans le cas de nécessité absolue, présentent de nombreux inconvénients : 1° si le ruisseau charrie des sables ou graviers, ils engorgent souvent l'aqueduc et ne peuvent généralement en être convenablement expulsés par la faible vitesse ascensionnelle de l'eau à la bouche d'aval ; 2° on ne peut les visiter à l'intérieur qu'en détournant ou en retenant momentanément le ruisseau, et en épuisant l'eau qui reste dans la partie basse ; 3° dans les chômages de la navigation ou dans les orages qui donnent subitement une grande quantité d'eau, la voûte tend à se soulever par l'effet de la charge liquide contre ses parois.

Le premier inconvénient est des plus graves, surtout quand le ruisseau est exposé à tarir où à devenir torrentiel ; dans ces deux cas, l'aqueduc s'engorge généralement. En effet, si le ruisseau tarit, les dépôts formés après une crue ou un orage, par le ralentissement de la vitesse, se durcissent plus ou moins et ne peuvent être emportés par la crue suivante. A la longue, il arrive un moment où l'engorgement est tel, que la voûte finit par crever sous l'action de la charge élevée d'amont à l'époque d'une forte crue, ou bien il arrive que cette eau déverse par dessus les berges du cours d'eau sous lequel se trouve le siphon et y fasse des dégâts considérables.

On a cherché à empêcher le soulèvement de la voûte en construisant au-dessus une contre-voûte s'appuyant contre les portions de murs de revêtement dont on munit les rives du cours d'eau supérieur au droit du siphon. Ce moyen n'est praticable que pour autant que la largeur du cours d'eau ne soit pas trop grande ; on l'a employé en France au canal du Centre.

On a aussi conseillé de faire les voûtes des siphons en pierre de taille ; on augmente ainsi le poids et par suite la résistance ; mais la manière même dont s'exécute généralement cette maçonnerie, en coulant les joints, rend ceux-ci faciles à dégarnir, et les voussoirs sont soulevés isolément ; il est vrai qu'on peut munir la voûte d'ancres se reliant aux piédroits et allant même jusqu'au-dessous du radier. Mais le même palliatif peut s'employer avec la maçonnerie de briques ; aussi conseille-t-on presque toujours d'employer une telle maçonnerie qui, exécutée avec un bon mortier hydraulique, est imperméable et ne tarde pas à former un vrai monolithe.

Quand le ruisseau n'est pas exposé à de fortes crues et que ses eaux sont assez claires, il est préférable, pour des sections moyennes, d'employer des buses de bois ou des tuyaux de fonte.

Ces dispositifs offrent plus de garanties que les siphons en maçonnerie, tant contre les fissures que contre les soulèvements ; en outre, ils exigent des fouilles moins profondes et par suite moins d'épuisements, avantages très-grands pour des travaux hydrauliques.

Si l'écoulement n'est pas continu, la fonte est d'un emploi plus avantageux que le bois, attendu que celui-ci pourrit rapidement par les alternatives de sécheresse et d'humidité; dès lors les terres extérieures à la buse l'écrasent et l'engorgent.

Au canal latéral à la Loire et à celui du Nivernais, on a employé des tuyaux en fonte de $1^m,00$ de diamètre intérieur et $0^m,16$ d'épaisseur. L'on a aussi eu recours à ce moyen pour faire passer, sous le busc d'amont de l'écluse d'Arles, située sur le canal d'Arles à Bouc, une dérivation du canal Craponne, dont les eaux sont d'ordinaire à $2^m,80$ au-dessus de celles du premier. La communication a lieu par deux cylindres en fonte (fig. 952) placés verticalement l'un à côté de l'autre dans l'épaisseur des bajoyers, se retournant à angle droit pour traverser le radier dans l'épaisseur du busc, et se relever dans le bajoyer opposé. Ces tuyaux, de $0^m,03$ d'épaisseur, sont assemblés à collet et boulons; on a placé extérieurement, dans le joint, du carton goudronné, et intérieurement le mastic ordinaire de limaille, soufre et chlorhydrate d'ammoniaque.

L'eau descend et remonte verticalement de 6 mètres. Un grillage placé à la bouche d'amont arrête les corps étrangers. Quoique les eaux du canal Craponne charrient quelque gravier et déposent un peu de vase à la fin de chaque crue, les siphons en question ne doivent guère être curés que tous les 4 ou 5 ans, la vitesse d'une crue suffisant pour enlever en grande partie les dépôts vaseux de la crue précédente.

Les siphons établis récemment sous le canal de dérivation de la Lys, latéral à celui de Zelzaete et recoupant, par conséquent, les affluents de ce dernier, se composent d'un corps en charpente, comprenant une partie horizontale sous le plafond du canal, et deux parties en rampe (fig. 953) raccordent celle-ci avec les deux têtes en maçonnerie.

Tous les corps des siphons se composent de châssis intérieurs et de châssis extérieurs, contre lesquels sont cloués deux rangs de bordages, séparés par une couche d'argile fortement damée, et présentant ainsi à l'écoulement de l'eau un certain nombre de passages suivant l'importance des ruisseaux.

La manière dont les châssis reposent sur le terrain n'est pas la même pour les parties inclinées que pour le milieu. Dans tous les siphons, la face supérieure des châssis extérieurs de la partie horizontale se trouve à $0^m,50$ au-dessous du plafond du canal, cette surcharge de terre étant destinée à augmenter la résistance du siphon aux infiltrations, soit vers le canal, soit de ce dernier, ainsi qu'à le préserver des tendances au soulèvement, surtout vers le milieu.

Les têtes en maçonnerie se composent, chacune, d'un radier général, de deux piédroits, ou parfois de piles isolées, supportant une voûte et un mur de front qui a pour objet de contre-balancer la poussée des terres formant la digue au-dessus des parties inclinées.

Par la disposition adoptée, les têtes en maçonnerie sont presque complétement indépendantes du corps en charpente, qui n'y est pour ainsi dire que simplement juxtaposé. On a évité par là de faire porter le poids de la maçonnerie sur les parties inclinées de la charpente du siphon.

La plupart des ruisseaux étant à sec pendant l'été, l'emploi des buses en bois aurait présenté l'inconvénient que nous avons signalé, et les extrémités des parties en charpente auraient été rapidement hors de service si l'on n'avait eu soin de les descendre assez profondément pour qu'elles se trouvassent toujours sous l'eau, et de se ménager une enceinte close dans laquelle l'eau pût être, autant que possible, à l'abri des chances d'évaporation.

Ce résultat a été obtenu, ainsi que le montre la figure, par un mur de chute dont la face supérieure se trouve au même niveau que le radier de l'éclusette qui déverse les eaux du ruisseau dans le canal de Zelzaete, et en plaçant les châssis à une profondeur telle, que leur face supérieure se trouve au même niveau que la tablette du mur de chute et le radier de l'éclusette précitée.

Par cette disposition, le mur de chute et les deux murs en aile qui le terminent forment un coffre de maçonnerie que l'on pourra toujours tenir plein d'eau, celle qui s'y trouve ne pouvant diminuer que par l'évaporation à la surface, évaporation à laquelle il est facile de parer en fermant l'éclusette en temps convenable, ou même, au besoin, en amenant dans le siphon une certaine quantité d'eau du canal de Zelzaete.

A l'aval, le raccordement des siphons avec les éclusettes se fait par un coffre analogue, formant puisard et permettant ainsi d'y descendre pour enlever les corps étrangers qui pourraient se présenter à l'ouverture de l'éclusette et l'obstruer.

Pour les affluents qui conservent, même en été, une certaine hauteur d'eau, l'on n'a descendu les châssis qu'à cette hauteur. La hauteur du mur de chute a été réglée de même.

E. R.

---

## RÉSUMÉ DE LA TRENTIÈME LEÇON.

SYSTÈME DE NAVIGATION AVEC FAIBLE DÉPENSE D'EAU. — SYSTÈME DE PETITE NAVIGATION — DÉRIVATIONS. — IRRIGATIONS. — DESSÈCHEMENTS. — AQUEDUCS. — CONDUITS D'EAU. — ÉGOUTS. — PUITS ARTÉSIENS ET ABSORBANTS.

*Exposition de divers moyens essayés pour remédier à l'insuffisance d'eau.*

L'impossibilité, dans beaucoup de contrées, de trouver une quantité d'eau suffisante pour subvenir à la navigation sur un canal, a fait rechercher les moyens de diminuer la dépense. Un des principaux éléments de cette dépense étant le passage des écluses, on a eu recours fréquemment à des réservoirs latéraux, au moyen desquels on tient en réserve une partie de l'eau qu'on aurait dépensée en entier pour le passage d'un bateau.

Bélidor, dans son *Architecture hydraulique*, décrit les deux réservoirs annexés aux

sas de Boesinghe, sur le canal d'Ypres à Nieuport. La chute totale était de $6^m,40$; les deux réservoirs emmagasinaient environ les ⅔ du prisme de chute, en sorte que la dépense n'était que celle d'une écluse ordinaire de $2^m,10$ de chute. Ce moyen a été suivi en Angleterre au canal de Grande Jonction; et à côté de plusieurs écluses, on a placé deux réservoirs de superficie qui communiquent au moyen d'aqueducs avec les sas. L'on peut aussi, comme au canal du Régent en Angleterre, disposer ces réservoirs en sas adjacents servant à volonté à la navigation ou à l'emmagasinage de l'eau. Pl. 94. Fig. 466.

On a imaginé, en Hollande, d'utiliser la chute de l'eau dans une écluse comme force motrice soit pour élever l'eau du bief inférieur au supérieur, soit pour remonter les bateaux eux-mêmes; mais les frottements des appareils absorbent presque la moitié et les deux tiers de la force.

En Angleterre, en 1794, à un canal près Bath et à Oakengates, l'ingénieur William Smith avait établi la communication des biefs supérieur et inférieur au moyen d'un puits traversé par un caisson flottant, lequel recevait les bateaux, et dont le creux était égal à la profondeur du puits. Le puits, dans ses parties supérieure et inférieure, était muni de portes qui en ouvraient et fermaient à volonté la communication avec les biefs supérieur et inférieur. Quand le bateau était entré dans le caisson, l'on faisait enfoncer ce dernier jusqu'au bas du puits, et passer ensuite le bateau dans le bief inférieur en ouvrant la porte de communication. Pl. 94. Fig. 467.

Postérieurement on avait amélioré ce système en creusant le puits au-dessous du niveau du bief inférieur de toute la profondeur de la chute d'eau, et en soutenant le caisson mobile sur un flotteur. Par cette disposition, le caisson ou sas mobile chargé du bateau faisait descendre le flotteur au fond du puits, et descendait avec lui pour arriver au niveau du bief inférieur. Le bateau remontait par le même moyen, suivant qu'on faisait enfoncer ou émerger le caisson.

Solage et Bossut avaient, sur des principes analogues, imaginé une écluse à sas mobile, dont on avait essayé de faire l'application au Creusot.

Enfin, MM. Lanz et Bétancourt avaient imaginé une écluse à flotteur décrite dans leurs ouvrages et représentée dans les figures 468 des planches. Pl. 94 Fig. 468

M. de Prony, dans le rapport à l'Institut relatif à cette invention, en avait posé les principes comme suit :

« Si l'on considère un bateau traversant les biefs successifs d'un canal, comme un « corps pesant qui s'élève ou s'abaisse à chaque rencontre d'écluse, on voit qu'abstrac- « tion faite de la force nécessaire pour mettre en jeu un mécanisme quelconque, le « bateau devrait en descendant élever à la hauteur de *chute* un poids d'eau égal au sien, « et que *vice versâ*, l'élévation d'un bateau ne devrait occasionner que la descente « d'un poids égal au sien. Les choses ne se passent pas ainsi dans les écluses ordi- « naires. L'élévation et l'abaissement des masses d'eau ayant les mêmes poids que les « bateaux s'y opèrent à la vérité par le simple jeu du déplacement du fluide; mais « il résulte du mode de remplissage des sas que les bateaux descendants y dépensent

« de l'eau comme les bateaux montants; et comme l'excès du poids de l'eau est « énorme, le bénéfice d'eau dû à la descente ne donne qu'une faible compensation. Ce « serait donc rendre un grand service à la navigation que de réduire la montée et la « descente des bateaux dans une écluse à une équipondération pure et simple des « masses qui donnerait le minimum de dépense d'eau. »

Voici en quoi consiste la solution présentée par M. de Bétanconrt.

Il pratique, sur nne des rives de l'écluse, uu puits à section rectangulaire, qui dans le bas est en communication avec l'écluse par nn aqueduc. Un volume d'eau déterminé est contenu dans le puits de l'écluse, et il s'agit de faire élever et baisser à volonté le niveau de cette eau, de manière qu'il corresponde successivement avec ceux des eaux dans les biefs supérieur et inférieur.

Cette condition est remplie par l'immersion d'un flotteur, ou plutôt d'un plongeur, qui descend et monte dans le puits. Le flotteur est mis en mouvement par nn contrepoids susceptible de tenir le flotteur en équilibre dans toutes ses positions. M. de Bétancourt a trouvé que la conrbe décrite par le centre de gravité du contre-poids doit être une circonférence de cercle. D'après les transmissions de mouvement projetées par M. de Bétancourt, un seul homme pourrait exécuter les manœuvres nécessaires lors de la montée un de la descente des bateaux. Cette opération pour la montée s'effectue en fermant les portes d'amont et ouvrant les portes d'aval, et en introduisant les bateaux et refermant ensuite ces dernières portes. On fait descendre le plongeur; il force l'eau du puits de passer dans le sas et de s'élever jusqu'au niveau du bief supérieur; on ouvre la porte d'amont et le bateau passe dans le bief supérieur. L'inverse a lieu pour la descente.

On ne parlera pas de l'écluse hydro-pneumatiqne, inveutée en Angleterre par le colonel Congrève, et fondée sur la compression et le ressort de l'air. Elle est évidemment inapplicable en grand.

Tous ces moyens, plus ou moins ingénieux, ont l'inconvénient commun d'être très-compliqués, facile à se détraquer, d'une grande lenteur et ne sont pas susceptibles dès lors d'applications sur une grande échelle; aussi l'on y a renoncé partout.

Les puits artésiens, dans des circonstances géologiques convenables, offriraient plus de ressources.

Le mètre cube d'eau n'est ressorti par divers puits artésiens qu'à $0^f,0025$, tandis que le mètre cube d'eau, conduit et emménagé dans divers réservoirs d'alimentatiou, a été évalué depuis $0^f,007$ jusqu'à $0^f,026$.

Élévation de l'eau dans les biefs à l'aide de machines à vapeur.

L'on a employé la machine à vapeur, surtout en Angleterre, au canal de Rochdale et d'Oxford, du vieux Birmingham, à celui de la Tamise et de la Medway, au canal de Grande Jonction, enfin à celui dn Régent, pour monter de l'eau dans les divers biefs. Ce moyen pris comme auxiliaire dans une navigation déjà établie, où des mouvements plus nombreux, des filtrations ou autres causes ont augmenté les consommations primitives d'eau, peut être quelquefois préférable à l'établissement de nouvelles rigoles

et de réservoirs supplémentaires d'alimentation, surtout dans les contrées où le combustible est à très-bon marché. Pour s'en rendre compte, il suffira, d'une part, de rechercher pour une quantité déterminée d'eau, rendue à un niveau également déterminé, la dépense annuelle d'entretien, y compris les intérêts et l'amortissement du capital primitif pour les rigoles et réservoirs; et, d'autre part, la dépense analogue pour les machines à vapeur, y compris les tuyaux conducteurs d'eau, en y ajoutant la valeur du combustible et le salaire des chauffeurs et mécaniciens attachés à la manœuvre de l'appareil.

Comme moyen d'alimentation *à priori*, et lorsqu'il s'agit de créer un canal, l'emploi des machines à vapeur donne lieu à l'observation suivante : qu'une éclusée d'eau pesant généralement quatre à cinq fois plus qu'un bateau, il faudrait élever avec une machine à vapeur 500 tonneaux d'eau pour faire monter à la même hauteur un bâtiment pesant 100 tonneaux; et pour un bateau descendant ce serait encore pis, puisqu'on ferait monter 400 tonneaux pour en dépenser 100. Il vaut donc mieux, en général, dans ce cas, appliquer directement la machine à vapeur à faire monter le fardeau lui-même, soit par des plans inclinés alternant avec des biefs remplis d'eau, soit par la substitution d'un chemin de fer au canal projeté. Cependant l'emploi *à priori* des appareils d'élévation d'eau, malgré les objections ci-dessus, ne doit pas être proscrit, toutes les fois que la rapidité des transports sur un canal devra prévaloir sur les considérations d'économie dans l'emploi des forces motrices.

**Plans inclinés pour la remonte et la descente des bateaux.**

La substitution des plans inclinés aux écluses convient surtout pour les grandes chutes de terrains où l'on eût été forcé d'employer des sas accolés ou de développer un grand nombre de biefs. En effet, les pertes de temps et d'eau *initiales et finales* pour faire monter un fardeau sont les mêmes, quelle que soit la hauteur d'élévation. Aussi en Angleterre, au seul canal du Shropshire, il y a trois plans inclinés qui rachètent des chutes de 36$^m$,50, 36$^m$,40, 63 mètres de hauteur, avec des longueurs de 292 mèt., 548 mèt., 320 mètres, et des pentes par mètre de 0$^m$,125, 0$^m$,07, 0$^m$,196. Pl. 94. Fig. 469.

Il existe plusieurs plans inclinés sur les canaux de la Nord-Hollande; ils ont 0$^m$,20 de pente par mètre, sur environ 3 mètres de large. La manœuvre d'ascension de bateaux de 6 à 8 tonneaux est faite par un seul homme agissant sur une roue à tympan de 7 mètres de diamètre. Les plans inclinés sont en charpente, bordés sur un grillage piloté.

Le plan incliné souterrain du canal du duc de Bridgewater a 32$^m$,43 de hauteur pour une longueur de 154$^m$,38, y compris 16$^m$,44 pour les écluses supérieures. Pl. 95. Fig. 470.

Plusieurs plans inclinés ont été établis en France au canal du Centre pour suppléer à l'insuffisance de l'eau.

M. de Bétancourt a indiqué, pour les limites extrêmes de l'inclinaison, des plans de 8° et 25°, ou 0$^m$,07 et 0$^m$,46 par mètre.

Au canal de Morris de jonction de la Delaware avec l'Hudson (canal de petite section), il y a quatorze plans inclinés, chacun de 30$^m$,48 de hauteur verticale, à la pente de 4 de base pour 1 de hauteur.

Les plans inclinés peuvent être exécutés en maçonnerie ou en charpente. Ils doivent être solidement établis et être garnis de chemins de fer pour diminuer le frottement. C'est sur ces chemins que montent et descendent les chariots ou *berceaux* munis de fortes roulettes, sur lesquels l'on fait reposer soit les bateaux, soit des sas mobiles pareils à ceux du canal Morris des États-Unis, dans lesquels les bateaux restent immergés.

La manœuvre de placement des bateaux sur les chariots au canal du duc de Bridgewater s'opère dans des écluses ordinaires au haut du plan incliné, qu'on peut remplir ou vider d'ean à volonté; la remise à flot du bateau su bas du plan incliné peut se faire aussi au moyen de pareilles écluses.

On dépense ainsi une demi-écluse ordinaire pour l'opération préparatoire de la descente d'un bateau à une profondeur qui sans cela eût exigé 14 à 15 éclusées.

Pl. 94. Fig. 469. Aux plans inclinés des canaux du Shropshire, pour éviter toute dépense d'eau, on substitue aux écluses du haut un second plan incliné secondaire en sens contraire du principal, et de 12 mèt. de longueur seulement. Le chariot qui doit porter le bateau va le prendre au bas du second plan, à sa sortie du bief supérieur; et c'est une machine à vapeur qui appelle jusqu'en haut le chariot chargé du bateau, et le fait descendre sur le versant du grand plan incliné principal. Mais les chariots-bateaux pour ne pas s'arquer et se briser dans ces divers passages n'ont que $6^m,50$ à 6 mètres de largeur, et ne portent que 5 tonneaux pesant en descendant et 3 en montant. De plus, pour économiser sur la mise en train de la machine motrice, on ne la fait agir que quand un grand nombre de bateaux sont réunis à la fois pour remonter et descendre, et qu'ils ne pèsent ensemble à vide que 5 tonneaux. Au canal de Bridgewater, au contraire, les chariots ont $9^m,13$ de long sur $2^m,18$ de large; et les bateaux ordinaires portent de 5 à 12 tonneaux, pèsent à vide de 4 à 6 tonneaux, ont $11^m,10$ de longueur et de $1^m,37$ à $2^m,10$ de largeur.

C'est afin de pouvoir employer des bateaux d'un plus fort tonnage sans courir risque de faire défoncer et d'avarier les chargements, qu'on a eu recours, aux États-Unis, aux plans inclinés avec sas mobiles, où les bateaux restent chargés à flot.

Plans inclinés des États-Unis. Voici la description que M. le major Poussin donne des sas mobiles des plans inclinés du canal Morris :

Les deux écluses mobiles sont en bois et montées sur des plates-formes triangulaires, de manière à conserver toujours une position horizontale. Les plates-formes roulent comme un chariot sur huit petites roues en fer. Chaque sas mobile est de 15 mètres de longueur et $0^m,91$ de profondeur, $2^m,75$ de largeur, et contient 45 tonnes. Il pèse avec sa plate-forme triangulaire et à vide 15 tonneaux; avec toute son eau, 60 tonneaux. Les bateanx employés sur le canal sont ordinairement du poids de 25 tonneaux. Chaque chariot est muni de deux câbles en fer, dont un seulement suffirait pour maintenir la charge le long du plan incliné. Ces câbles sont assujettis de manière qu'en diminuant la quantité respective d'eau dans l'un et l'autre sas, les appareils sont mis en mouvement,

et les câbles se roulent autour des treuils placés l'un en amont, l'autre en aval du plan incliné. Les chariots sont en outre armés de *cliquets* ou freins, qui permettent d'en régler le mouvement descendant, et maintiennent le sas bien uni aux portes éclusées des biefs supérieur et inférieur, lors du passage d'un bateau du canal dans l'un des sas et *vice versâ*.

Pour économiser la force motrice on peut, du reste, comme dans les plans inclinés des chemins de fer, utiliser la descente des bateaux pleins ou vides par la montée d'autres bateaux au moyen de deux voies dans le plan incliné. Dans un point de partage, à l'instar également des chemins de fer, on peut faire servir la descente sur le plan incliné d'une des versants à la montée sur l'autre.

M. de Bétancourt a indiqué un moyen ingénieux pour que le bateau descendant soit seulement arrivé à l'eau du bief inférieur quand le bateau montant est rendu tout à fait en haut. Pl. 95. Fig. 471.

**Manœuvre des plans inclinés**

La manœuvre des plans inclinés s'effectue avec des treuils comme dans les plans inclinés des chemins de fer. Ces treuils sont mus par des hommes, des chevaux ou des machines à vapeur. En Hollande, sur un plan incliné de $0^m,20$ de pente par mètre, un seul homme marchant dans les roues à tympan de 7 mètres de diamètre, ainsi qu'il a été dit, manœuvre un bateau de 6 à 8 tonneaux. Au canal du duc de Bridgewater, il n'y a que deux hommes à la manœuvre des bateaux sur le plan incliné souterrain. L'un est chargé du mécanisme des portes d'amont des écluses, de celui des cylindres, de son frein, l'autre du levage.

M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Dutens fait connaître que la manœuvre n'exige que 16 minutes par bateau, et qu'on peut faire descendre trente bateaux chargés, et remonter trente bateaux vides en 8 heures de temps. En tenant compte des poids des chariots et bateaux vides, il présente, comme effet utile en 8 heures de temps et pour 30 demi-éclusées d'eau :

630 tonneaux de poids total, dont 360 tonneaux de charge utile descendant de $42^m,43$ de haut ;

270 tonneaux de bateaux et chariots vides, remontant à la même hauteur.

Sur les plans inclinés du Shropshire, outre une machine à vapeur fixe de 6 chevaux et son mécanicien, on emploie trois hommes, dont deux en haut du plan incliné introduisent et attachent le bateau sur le chariot et règlent le mouvement des cylindres ; le troisième, placé au bas du plan, détache le bateau descendu et fixe sur le chariot le bateau qui doit l'y remplacer et remonter. Les bateaux mettent 3 minutes à descendre de 63 mètres de haut.

On trouvera de plus amples détails sur la construction et la manœuvre des plans inclinés dans les ouvrages de Fulton et dans ceux de M. l'inspecteur général Dutens, publiés en 1819 sur le *Système de petite navigation*.

Les plans inclinés ont été particulièrement appliqués aux canaux de petite navigation. Ceux du canal Morris, mentionnés ci-dessus, ont environ 3 mètres de largeur. Le mètre

de chacun coûte pour sas mobiles, chariots, chaînes, 3,200 francs, tandis que le mètre courant de chute de petite écluse sur le même canal ressortait à 7,143 francs.

M. l'ingénier Mercadier, pour épargner la consommation d'eau dans le passage des écluses à grande chute, avait projeté d'élever un radier mobile sur lequel porteraient les bateaux, à l'aide d'un système d'engrenage sur chariot lui-même mobile dans le sens de la longueur de l'écluse. Les figures 472 des planches feront comprendre cet appareil.

Pl. 95. Fig. 472.

Système de petite navigation.

Le système de petite navigation consiste, soit 1° à réduire la largeur des bateaux seulement, et de telle manière que deux petits bateaux passent dans les débouchés ménagés pour les grands, mais en conservant aux bateaux la même longueur; soit 2° à réduire en outre la longueur de manière que deux petits bateaux à la suite l'un de l'autre puissent être reçus dans un sas destiné aux bateaux de grandes dimensions; le tirant d'eau est d'ailleurs le même que dans les canaux de grande navigation.

La dépense de construction des biefs, sous le rapport des terrassements, n'est guère moindre que de $\frac{1}{5}$ dans les canaux de petite navigation que dans ceux de grande, toutes choses égales d'ailleurs.

Les pertes d'eau par évaporations et filtrations sont les mêmes, que les bateaux de petite navigation soient longs ou courts, puisque les développements des surfaces des biefs sont les mêmes. Si l'on compare ces pertes à ce qu'elles sont dans les canaux de grande navigation, on reconnaîtra qu'elles ne sont pas réduites de moitié, car les surfaces évaporatoires et les contours mouillés sont loin d'être réduits de moitié; et, d'ailleurs, si les filtrations sont dues à des fissures de rocher, elles seront aussi abondantes que dans les biefs larges.

La dépense de construction des écluses, à chute égale, sera à peine de $\frac{3}{10}$ à $\frac{1}{2}$ plus grande dans les canaux de grande navigation que dans ceux de petite navigation, suivant que les écluses seront longues ou courtes.

La dépense d'eau par éclusée sera moindre de moitié à un quart dans les écluses *longues* et *courtes* de petite navigation que dans celles de grande navigation; mais comme le poids et le déplacement des bateaux vides relativement aux marchandises qu'ils transportent est bien plus grand dans des petits bateaux que dans des grands, il est possible qu'en définitive, sur une même ligne navigable, la masse totale des marchandises transportées consomme plus d'eau dans une petite navigation que dans une grande. Si l'on considère les intérêts du commerce, on reconnaîtra que si les petits bateaux sont obligés d'attendre moins longtemps un chargement complet, ils exigent, pour un poids donné de marchandises, des frais de halage et de bateaux bien plus considérables et qu'on a évalués au double pour *les bateaux courts*.

Le système de petite navigation n'est donc guère applicable qu'aux lignes qui n'auront jamais une grande activité commerciale, et où les frais de construction et d'entretien du canal, les pertes d'eau par évaporations et filtrations seraient réparties sur *un faible tonnage* de marchandises transportées.

Dans tout autre cas, le système de grande navigation paraît préférable, sauf à recourir aux plans inclinés, et même aux machines à vapeur pour élever l'eau lorsqu'il y a pénurie dans l'alimentation.

En France, l'on a adopté pour le canal de Berry, qui est à petite section, des bateaux longs ayant la moitié de la largeur des grands bateaux ; les écluses n'y ont qu'environ 2m,70 de largeur de passage, et sont fermées à l'amont comme à l'aval par un seul vantail transversal. En Angleterre, pour n'avoir pas à allonger l'épaulement de la chambre d'écluse d'aval, on a fait les portes d'aval busquées. Pl. 95. Fig. 473.

Aux États-Unis d'Amérique, le canal à petite section de Middlesex, destiné à des bateaux du port de 14 tonneaux, de 2m,70 de largeur et 22m,90 de longueur, présente une section de 6m,10 à la base et de 9m,15 à la surface de l'eau, et 0m,91 de profondeur d'eau. Les écluses y ont toutes 3 mètres de largeur et 22m,90 de longueur de sas.

Au grand canal de New-York où passent des bateaux de 100 tonneaux avec la vitesse de 3kilom.,70 par heure pour les marchandises, et de 7 kilomètres par heure pour les voyageurs, quoique la section du canal soit en grande navigation, les écluses n'ont que 3m,66 de large sur 27m,45 de longueur de sas.

Enfin au canal Morris, déjà cité plusieurs fois, et pratiqué par des bateaux de 25 tonneaux de port, la section des biefs a 4m,27 de largeur au fond et 9m,15 à la surface, et la profondeur d'eau est de 1m,22. Les écluses ont 2m,74 de largeur, 19m,50 de longueur et 2m,44 de chute.

*Observation générale.*

L'ordre d'exécution des ouvrages d'amélioration d'une navigation ou d'établissement d'une navigation artificielle peut être progressif ou simultané : dans le premier cas, on fait profiter les travaux eux-mêmes des nouvelles facilités données aux transports de toute espèce ; dans le second, on fait jouir plus tôt la navigation de l'ensemble des nouveaux ouvrages. Dans chaque localité, dans chaque circonstance et suivant les ressources disponibles en ouvriers et en matières, il y aura à opter entre ces deux ordres d'exécution ou à les approprier aux diverses parties du travail général.

Ici se terminent les notions sommaires qu'on avait à donner sur la navigation artificielle intérieure. On renvoie pour plus de détails aux ouvrages de Bélidor, de Peyronnet, de Gauthey, de MM. Hageau et Duteus ; à la description des canaux de l'Ourcq, Saint-Denis et Saint-Martin ; aux notices historiques des divers canaux français et étrangers ; au *Mémorial du génie militaire*, aux *Annales des ponts et chaussées* et à la *Collection lithographique de l'école des ponts et chaussées*.

*Irrigations et dérivations d'eau.*

Les irrigations sont un puissant véhicule à l'industrie agricole dans les contrées méridionales, où la pluie manque pendant plusieurs mois, et où les évaporations sont très- Irrigations.

considérables. On a constaté que certains terrains avaient produit par l'arrosage un revenu de 50 à 100 p. c. supérieur au revenu primitif. Aussi le tarif d'arrosage y est de 12 à 17 francs par an et par hectare.

L'État et les particuliers ont fait souvent des sacrifices considérables pour cet objet, et employé des machines mues diversement pour élever l'eau. On lit dans deux articles sur les irrigations et desséchements, publiés par MM. les ingénieurs en chef Graugent et Montluisant, dans les *Annales des ponts et chaussées*, que dans le bas Languedoc l'arrosage d'anciens marais desséchés doit équivaloir annuellement à une hauteur totale de 30 centimètres répartis sur trente jours au moins et sur quatre mois au plus; et que, pour les arrosages par semaine, l'on compte dans le Dauphiné sur une tranche d'eau de $0^m,10$ pour les cultures ordinaires.

Quand les eaux du fleuve alimentaire sont chargées d'un limon favorable aux terres, et qu'on veuille répandre en même temps que les eaux par le *colmatage*, on compte sur une tranche d'eau hebdomadaire de $0^m,15$. Ces quantités varient, au reste, suivant les localités et la nature des terres de $0^m,014$ de hauteur par semaine à $0^m,16$. M. l'ingénieur en chef Montluisant, dans l'article cité, fait observer que dans les cultures bien ordonnées, on n'arrose en Provence que le tiers des terrains en exploitation, et en Dauphiné que le cinquième.

La pente considérable de quelques-uns des fleuves et de leurs affluents facilite l'établissement de canaux d'irrigation; mais aussi les crues subites et violentes de ces mêmes cours d'eau exigent beaucoup de précautions, surtout quand ils entraînent des sables et autres matières nuisibles à la production agricole.

Bélidor recommande de faire des essais préalables sur l'influence de la nature et de la composition des eaux relativement à la végétation. Il cite, page 477, tome 2 de l'*Architecture hydraulique*, des eaux très-calcaires, qui par l'irrigation avaient rendu stériles des cantons qu'on voulait féconder. Il indique l'emploi des bassins de stationnement pour débarrasser les eaux de montagnes de leur crudité, et conseille, pour activer les effets des eaux d'irrigation, de les faire passer par des amas de fumier ou de plâtras, ou de marne et même de chaux.

Les canaux-aqueducs d'irrigation doivent avoir une pente et une section proportionnées au volume d'eau qu'ils auront à conduire dans un temps donné, et dans les diverses zones de leur longueur; ce volume doit être lui-même calculé d'après les besoins des terres, et en tenant compte des pertes par filtrations et évaporations. On se sert toujours pour les calculs des formules de M. de Prony, déjà citées antérieurement :

$$V = ulh. \quad u = -0,07 \pm \sqrt{0,005 + 323\, i \frac{lh}{l+h}}.$$

Pour diminuer les pertes par évaporation, il faut réduire autant que possible la largeur de la section du canal. Quand ce dernier doit transporter des eaux limoneuses, il convient de lui laisser beaucoup de pente, au moins dans l'intervalle entre la prise d'eau

alimentaire et les premières irrigations, afin d'empêcher les troubles de se déposer avant leur destination, et d'atterrir ainsi le canal lui-même. Cette pente ne doit pas être généralement moindre de 0m,10 à 0m,15 par kilomètre. Elle ne doit jamais cependant être assez forte pour que les eaux, après l'irrigation, ne puissent plus regagner les cours d'eau existants dans les vallées. On empêche au besoin les troubles de s'étendre, en les retenant par de petites digues; l'écoulement des eaux clarifiées s'opère alors par des déversoirs de superficie.

Le tracé d'un canal d'irrigation est fait de manière à n'occuper que le moins possible de terrains utiles à l'agriculture, et cependant à passer à un minimum de distance de chacune des zones à irriguer. Quand il occupe le faîte d'une chaîne de collines, il peut desservir à la fois les deux versants. Sous le rapport de sa construction, il est d'ailleurs assujetti aux règles générales données pour les canaux de navigation et pour les ouvrages d'art de même espèce.

Si le canal est à la fois canal d'irrigation et de navigation, comme la *Robine* de Narbonne dérivée de l'Aude (voir l'histoire du canal du Midi par Andréossy), sa pente de fond devra être réglée, comme il a été dit plus haut, de manière à donner une vitesse d'environ 0m,20 à 0m,25 par seconde; ou bien l'on établirait des sas éclusés, si la navigation ascendante était importante. En règle générale, à cause des chômages et de la vitesse qui nuit aux transports ascendants, il est préférable d'avoir des canaux distincts pour chaque destination.

La prise d'eau dans le fleuve alimentaire doit être telle qu'on puisse avoir de l'eau dans la saison des sécheresses, et que cependant les crues ne puissent verser dans le canal d'irrigation au delà d'un certain niveau. Ces conditions forcent quelquefois de faire gonfler les eaux du fleuve par un barrage à l'aval de la prise d'eau.

La pénurie d'eau dans le fleuve alimentaire pendant certains mois de l'année peut déterminer aussi à y établir des réservoirs de réserve remplis pendant les temps d'abondance. Prise d'eau.

Un système de ventelles, manœuvré à main d'homme, est le mode le plus simple de prise d'eau; un déversoir de surface ne conviendrait pas évidemment. Comme l'écoulement de l'eau augmente en raison de la charge, il est difficile de suppléer à l'intelligence de l'homme par des mécanismes fonctionnant d'eux-mêmes; cependant les vannes à mouvement spontané (*selfacting*) et autres appareils de même genre, décrits dans un article déjà cité sur l'approvisionnement d'eau de Greenock, et expérimentés en Angleterre, pourraient convenir dans quelques cas.

Il sera utile de ménager, en cas d'accident, des déversoirs de surface sur divers points de développement d'un canal d'irrigation.

Suivant le mode arrêté pour la répartition des eaux d'irrigation, l'eau sera conduite à chaque propriété intéressée, soit par des déversoirs de section déterminée, et dont le seuil sera à une hauteur fixe en contre-bas du niveau des eaux, soit par des ventelles ou des robinets. Les eaux ainsi réparties se distribueront par un réseau de rigoles entre Distribution des eaux

les propriétés de chaque zone, et à l'aide de petites ventelles dites *martelières*. Les saignées doivent avoir de 0m,10 à 0m,15 de pente par hectomètre, suivant que le sol est argileux ou sablonneux. Comme dans leur développement elles doivent perdre l'eau, elles s'arrêtent au point où l'imbibition ordinaire du sol suffit pour absorber toute l'eau encore en mouvement; à moins toutefois qu'on ne recueille les eaux dans un canal de décharge ou desséchement qui les conduit alors dans d'autres zones inférieures. Les figures 475 des planches indiquent diverses combinaisons de rigoles d'irrigations.

Pl. 95. Fig. 474. Pl. 95. Fig. 475.

Dérivations. S'il s'agit d'amener de l'eau pour un besoin quelconque, public ou privé, par exemple pour servir de moteur à un appareil mécanique, les principes sont à peu près les mêmes que pour les canaux d'irrigations : car le problème à résoudre sera toujours de conduire, dans un temps donné et avec le minimum de dépense, un volume d'eau déterminé depuis la prise d'eau alimentaire jusqu'aux lieux d'emploi, en perdant le moins possible par l'évaporation ou les filtrations. Mais comme la chute d'eau est un des éléments de la puissance que doit développer l'eau, on réduira, autant que possible, la pente pour ce genre de dérivation, sauf à grandir la section. Toutes choses égales d'ailleurs, on donnera une profondeur d'eau moitié de la largeur du canal, pour diminuer les frottements contre les parois.

De plus, comme les consommations d'eau sont souvent très-variables entre des limites assez distantes, il sera nécessaire, dans quelques localités, de former en amont de la chute d'eau des réservoirs étendus pour emmagasiner l'eau non dépensée ou pour subvenir à une dépense momentanément plus grande; cette précaution sera nécessaire *a fortiori* si les cours d'eau ou étangs alimentaires sont susceptibles de variations considérables dans leurs produits.

Des déversoirs placés en amont et sur l'une des rives du canal de dérivation doivent empêcher le niveau de l'eau de s'élever au delà du point où elle pourrait causer des dommages aux riverains; de plus, une ventellerie de décharge de fond doit être ménagée pour servir en cas de réparation de la chute d'eau et pour évacuer les crues d'eau subites, si le canal y était exposé. Enfin, à côté même de l'appareil moteur, et pour les circonstances où il ne fonctionnerait pas, il est nécessaire d'avoir une vanne de décharge avec canal de fuite.

Pl. 95. Fig. 476. Les figures 476 des planches indiquent l'ensemble des dispositions prises le plus habituellement.

### *Desséchements.*

Les desséchements peuvent être divisés en deux catégories.

Dans la première, sont les desséchements des lagunes ou marais que les marées ou les crues d'un cours d'eau découvrent régulièrement ou irrégulièrement. Dans la deuxième, sont les desséchements des marais formés par des sources locales, par les eaux pluviales ou par des épanchements permanents d'eaux supérieures.

Les *polders* de la Hollande, les rives du Rhin, celles de la Loire, les marais supérieurs de Beaucaire appartiennent à la première catégorie. **Première catégorie de terrains à dessécher.**

La première opération à faire, c'est d'isoler de l'action de l'eau, par des digues, toute l'enceinte ou toute la rive que l'on veut dessécher. L'on a déjà parlé des digues du Rhin et de la Loire; on trouvera dans l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, dans la *Collection lithographique de l'École des ponts et chaussées*, des détails nombreux sur les digues de la Belgique et de la Hollande, où l'industrie a su, par l'emploi judicieux de frêles matériaux, opposer des obstacles résistants non-seulement à la charge de l'eau, aux filtrations, mais à l'action bien autrement destructive des vagues de la mer.

Lorsqu'une plage n'est plus baignée par la mer qu'aux hautes mers de vive-eau (pleines et nouvelles lunes), elle se recouvre d'alluvions argileuses venant de la côte, et d'herbes marines qui forment des espèces de prairies nommées *schorres* en Belgique, sillonnées par de nombreux fossés qui, au jusant, servent à l'écoulement des eaux douces et salées. C'est alors qu'on s'occupe de soustraire la plage à la mer, et de l'assécher pour la livrer à la culture sous le nom de *polders*. La surface des polders récents de Hollande et de Belgique présente une légère déclivité vers la mer; les polders les plus anciens et par conséquent les plus éloignés du rivage *actuel* sont au contraire les plus bas.

Les digues des polders sont élevées de 0$^{m}$,50 à 1 mètre au-dessus de plus hautes mers d'équinoxe; et comme on n'a pas voulu qu'elles fussent frayées par les voitures, leur épaisseur au sommet est ordinairement de 1 mètre à 2 mètres; leurs talus, du côté de l'intérieur, dépendent de la nature des remblais. Quant à la forme et au mode de construction de leurs parois à la mer, on renvoie à ce qui sera dit sur les ouvrages défensifs à la mer.

On réserve les terres grasses et végétales jusque sur 1$^{m}$,50 à 2 mètres d'épaisseur pour le dessus des parois des digues, afin d'y développer la végétation. Si les remblais sont en vase et limon, on établit dans le corps de la digue des corrois de sable, pour empêcher les rats ou les taupes de percer des conduits qui donneraient lieu à d'abondantes filtrations. Un contre-fossé est nécessaire parallèlement et à l'intérieur de ces digues : 1° pour recevoir à la fois les eaux infiltrées à travers le corps de la digue et celles qui seraient jetées par les lames et les crues d'eau extraordinaires; 2° pour réunir les eaux pluviales et les sources de l'enceinte desséchée. Entre les contre-fossés et le pied du talus de la digue, l'on réserve ordinairement une banquette de 5 à 6 mètres qui, en même temps qu'elle consolide la digue, sert de chemin d'exploitation aux voitures. **Pl. 96. Fig. 477.**

Les eaux sont conduites dans les contre-fossés, soit par des rigoles de ceinture creusées au pied des escarpements naturels du sol, soit par un réseau de rigoles transversales et longitudinales, ou divergentes en rayon, pour le tracé desquelles on ne peut assigner aucunes règles générales. On se borne à recommander l'économie dans les terrains perdus par ces rigoles, et l'exposition de la plus grande surface possible d'eau aux évaporations.

Pl. 96. Fig. 478. Les figures 478 des planches représentent les polders voisins de Terneuzen dans la Nord-Hollande.

Il reste à évacuer les eaux intérieures de toute espèce accumulées quand les eaux extérieures ont abandonné le terrain.

Il est évident que les orifices d'évacuation devront être d'autant plus grands que le volume d'eau à faire écouler sera plus considérable ; que le temps qui séparera le départ des eaux extérieures et leur retour sera moins long ; enfin que les rigoles de réunion des eaux dans les contre-fossés auront plus de développement et moins de pente.

En Hollande, l'on donne 0$^{mc}$,30 de débouché d'assèchement pour 144 hectares, et 1$^{mc}$,80 par lieue carrée de 1600 hectares ; cela suppose six heures d'écoulement en douze heures, et que la contrée à dessécher est aussi peu sujette aux orages que la Hollande.

La régularité à laquelle les dénivellations de la mer sont assujetties facilite la fixation des dimensions et niveau de ces orifices. Dans les fleuves, outre les crues régulières dues à la fonte des neiges, il y en a d'extraordinaires provenant d'orages ou de pluies abondantes, et qui durent plusieurs jours et même des semaines.

Suivant la nature des récoltes, on devra ou se résigner à des submersions accidentelles, ou en atténuer les effets en les morcelant, ou enfin les prévoir en réglant en conséquence les dimensions des contre-fossés.

Le genre d'orifice d'évacuation et le mode d'ouverture et de fermeture dépendent de la quantité d'eau à faire écouler dans un temps donné par l'un d'eux et du temps disponible pour l'écoulement. Ce qu'il y a de plus simple est un clapet rectangulaire ou circulaire, tournant sur une charnière horizontale ; on l'établit à la tête extérieure d'un aqueduc d'évacuation en bois ou maçonnerie qui traverse le corps de la digue. Le radier en pente de cet aqueduc est placé au niveau du fond des contre-fossés. Le clapet reste fermé quand la charge d'eau à l'extérieur est plus grande qu'à l'intérieur, et s'ouvre dans le cas inverse, sauf la légère résistance due aux frottements. (Pl. 96. Fig. 479.)

Toutefois, comme ce clapet pourrait se déranger, il sera prudent d'établir en arrière, du côté des terres, une ventelle de sûreté manœuvrée à main d'homme.

Après ce moyen vient celui des portes verticales placées dans une écluse en bois ou en maçonnerie, tournant sur un axe vertical qui les divise en deux portions d'inégale superficie. Quand les eaux extérieures sont plus élevées que celles intérieures, les portes sont maintenues par l'axe de rotation et par un épaulement dans l'écluse ; mais les eaux extérieures sont plus basses que celles intérieures, rien ne s'oppose au mouvement de l'intérieur vers l'extérieur. (Pl. 96. Fig. 480.)

Si les passages sont très-larges, au lieu d'un seul vantail, il y en a deux busqués comme à l'ordinaire, et alors les axes verticaux de rotation sont placés le plus près possible des bajoyers pour moins gêner le mouvement des eaux.

Les clapets et portes tournantes ont l'inconvénient de pouvoir rester ouverts par l'interposition de quelques corps flottants. On leur préfère ou des ventelles, ou deux paires

de portes busquées ordinaires, manœuvrées par des hommes. Dans ce dernier cas, et pour plus de sûreté encore, on réserve en arrière une vanne qui sert à fermer en cas d'accidents survenus aux deux jeux de portes. Un petit arrêt est placé derrière les portes, afin qu'elles ne puissent jamais s'ouvrir assez pour n'être pas fermées par la marée montante. Pl. 96. Fig. 481.

Si, par des motifs divers, on voulait retenir temporairement les eaux intérieures, il faudrait recourir à la ventelle ci-dessus et à un jeu spécial de portes d'*ebbe*.

Les figures 482 des planches représentent la grande écluse de desséchement, construite en 1807, par M. l'ingénieur Eudel, près du Sas de Gaud. Pl. 96. Fig. 482.

Quand on ne peut refermer immédiatement une digue de desséchement rompue, l'on conserve les portions restées debout, en les arrondissant à leurs extrémités vers le débouché que la mer a ouvert, et en les tapissant de fascinages et clayonnages qu'on nomme *nolles* en Flandre. Pl. 96. Fig. 483.

Deuxième catégorie de terrains à dessécher.

Dans les desséchements de deuxième espèce, s'il n'y avait de marais que par le séjournement des eaux pluviales ou par des épanchements d'eaux supérieures, on pourrait sacrifier les parties de terrains les plus basses pour remblayer et dessécher les autres, en y creusant pour les eaux de nombreux encaissements d'une grande largeur relativement à la profondeur, et que les évaporations videraient pendant l'été.

Ce mode a soustrait à Saint-Omer un terrain immense qui était couvert de plus de $0^m,50$ d'eau, il y a 50 à 60 ans. Mais comme il pourrait être une cause d'insalubrité, on tâche d'en hâter les effets : 1° par le *colmatage* mentionné à l'article *Irrigations;* 2° par des plantations très-multipliées d'arbres aquatiques, tels que les saules, osiers, aunes, peupliers, frênes, érables, etc.; l'expérience a prouvé qu'un saule de dix ans absorbe environ 3 kilog. d'eau en 24 heures; 3° par des semences de plantes labiées, renonculées ou ombellifères.

Ce mode n'est point applicable s'il y a des sources abondantes ou même si le volume des eaux pluviales ou d'inondations est considérable, relativement à la surface à dessécher; alors il faut tenter l'évacuation des eaux intérieures vers des cours d'eau situés plus bas que les marais.

Lorsque les sources, eaux d'inondations ou affluents quelconques d'eau viennent par les *rives de l'enceinte à dessécher*, il sera généralement plus économique de les dévier en dehors de l'enceinte ou de les conduire isolément à travers les marais, que de les y laisser pénétrer pour en faire écouler ensuite les produits en commun avec ceux des sources intérieures et des eaux pluviales.

Il convient par le même principe, dont le Hollandais Van Ens a fait l'application dès 1650, de partager toute l'étendue en bassins ou zones de même niveau, et dans tous les cas d'enceindre de fossés l'ensemble des marais d'une même zone.

Les fossés sont souvent alors des canaux d'écoulement pour les bassins ou zones étagés plus haut : par cette disposition on évacue séparément les eaux de chaque bassin à l'aide de canaux de dimensions ordinaires; et si des crues ou élévations d'eau du

récipient inférieur entravent l'écoulement des eaux des marais, au moins le champ des submersions temporaires est aussi resserré que possible.

Lorsque les marais reçoivent les crues de divers cours d'eau, souvent ces crues ne sont pas simultanées, mais successives; cette dernière circonstance permet de réduire les dimensions des canaux de desséchement.

Les produits des sources intérieures et eaux pluviales doivent nécessairement être conduits en dehors par des canaux ou aqueducs souterrains ou à ciel ouvert, qui aboutissent à un cours d'eau naturel situé plus bas que le point de départ. Plus la pente sera forte, moins pour un volume d'eau déterminé la section d'écoulement aura besoin d'être grande; mais cet accroissement de pente ne pourra souvent être obtenu que par une longueur de trajet plus considérable, ou par le franchissement dispendieux de reliefs de terrains et d'une foule d'autres sujétions. Il paraît utile que les canaux de desséchement soient plus profonds à leur milieu que sur leurs rives, et qu'ils aient environ 2 mètres de profondeur pour éviter les végétations du fond, qui ralentiraient la vitesse.

Il arrive souvent qu'au lieu d'une seule voie d'écoulement des eaux, il soit plus avantageux d'en avoir plusieurs de *différents ordres*, ayant des points de départ et d'aboutissement différents. Les canaux principaux servent alors de débouché commun aux canaux secondaires. Les uns et les autres doivent avoir, au reste, des francs-bords, c'est-à-dire des bermes et des levées, qui sont formées par une partie des déblais du creusement des canaux. Le reste de ces déblais sert à recharger les zones de terrains qui seraient le plus facilement appropriées à la culture.

Si les marais sont traversés par un torrent ou rivière sujette à des crues rapides, on l'encaisse souvent par deux *ordres* de digues, *majeurs* et *mineurs*, séparés par une banquette. Les digues inférieures ont alors pour objet de contenir les crues moyennes, et les digues supérieures de contenir les plus grandes crues; la banquette intermédiaire reste ainsi susceptible encore de plusieurs espèces de culture.

Il est évident, d'ailleurs, que si les canaux débouchaient à la mer ou dans des fleuves sujets aux crues, il y aurait à examiner s'il serait préférable de les faire aboutir au niveau des plus grandes eaux, ou beaucoup plus bas; sauf dans ce dernier cas, si les marées et les crues sont chargées de troubles infertiles, à isoler les canaux pendant tout le temps où le niveau des eaux de la mer ou des fleuves serait plus élevé que celui des canaux à leur aboutissement. Dans cette hypothèse de marées ou de crues au débouché des canaux de desséchement, l'écoulement de l'eau des marais étant entravé et même suspendu pendant un certain temps, on aurait aussi à examiner si l'on se résignerait à une submersion accidentelle, ou si l'on ménagerait des encaissements ou fossés de réserve à l'origine des canaux de desséchement.

A environ 3,000 mètres en amont de l'embouchure de l'Authion dans la Loire, le
I. 32. Fig. 201. pont éclusé de Sorges (figures 201 des planches) préserve les vallées les plus fertiles de l'Anjou, et empêche les eaux de la Loire de remonter dans l'Authion, dont le

volume d'eau est très-faible relativement à celui de la Loire. Les crues de ce fleuve s'élèvent en aval de ce pont éclusé jusqu'à 6 mètres au-dessus du radier.

Il arrive quelquefois, par la nature argileuse du sol, jadis couvert par des eaux saumâtres, que le soleil fait remonter le sel à la surface; il est alors nécessaire d'arroser les terrains pour les dessécher. On se sert à cet effet des canaux de ceinture mentionnés précédemment, qui vont prendre l'eau douce en amont, la répandent comme un canal d'irrigation, et l'entraînent ensuite en aval chargée de sel.

Si les canaux de desséchement devaient servir en même temps de canaux d'irrigation et de navigation, ou aux trois destinations à la fois, comme dans les nombreux canaux de la Hollande, et ainsi qu'il est projeté pour la rivière d'Aa dans le Pas-de-Calais, il y aurait à satisfaire, dans leur tracé, leurs dimensions et leurs ouvrages d'art, à ces nouvelles sujétions. Par exemple, si la navigation exigeait des écluses, il serait bon qu'elles n'eussent pas de murs de chute, à moins qu'il n'y eût des passages latéraux de communication entre les eaux du bief supérieur au bief inférieur.

**Canaux à la fois de desséchement, d'irrigation et de navigation**

Enfin, si les terrains à dessécher sont plus bas que tous les cours d'eau, étangs ou récipients d'eau environnants, il n'y a plus que l'un des partis suivants à prendre :

**Circonstances les plus défavorable des desséchements.**

1° Le moyen déjà indiqué de conduire les eaux troubles sur la surface à exhausser ou *colmater*, sauf à évacuer par des déversoirs superficiels, comme il a été dit à l'article *Irrigations*, les eaux qui ont apporté les dépôts. Pour que le renouvellement des couches d'eau soit le plus fréquent possible, il faudra donner beaucoup de vitesse d'arrivée et d'écoulement aux eaux, et surtout disposer la distribution des eaux troubles de manière qu'elles se dispersent uniformément sur tous les points, et non pas seulement dans les zones voisines du débouché du canal d'arrivée dans l'enceinte des terrains à *colmater*.

Bélidor recommande, p. 472, tome II de l'*Architecture hydraulique*, pour les terrains très-bas qui exigent une hauteur considérable de terres déposées, d'introduire d'abord l'eau trouble du fond du courant, celle qui entraîne les gros sables ; et quand la bonification est arrivée à une hauteur convenable, d'exhausser le seuil de la rigole de prise d'eau pour couvrir de limon cette couche inférieure de sable. Cette manière de dessécher les marais est très-lente : car le Rhône, qui est un des fleuves les plus chargés de troubles, n'en paraît contenir que $\frac{1}{2700}$ de son volume d'eau.

M. l'ingénieur en chef Goury, dans l'intéressant ouvrage intitulé *Souvenirs polytechniques*, décrit ainsi qu'il suit les principes de colmatage employés en Toscane et dans la vallée de la Chiana :

« Les petits torrents tributaires de la Chiana, en fonctionnant dans les *colmates*, remplissent un double objet : ils y déposent les troubles qui bonifient le sol, et ils ne se versent que clarifiés dans le récipient inférieur, et ne contribuent plus à l'encombrer.

« Chaque colmate a généralement deux enceintes particulières formées par des digues « en terre, ou par des clayonnages, parois en bois, etc., etc. On élève celles-ci en raison

« de l'avancement de la *colmate*. Ces enceintes sont de grandeurs différeutes à raison du « volume des eaux du torrent : on y couduit ce dernier après avoir fait gonfler ses eaux « par un barrage. Le canal de dérivation se divise, à son entrée dans l'enceinte, en plu- « sieurs fossés divergents qui distribuent régulièrement le limon sur toute la surface. Les « eaux passent de la première à la seconde, et de celle-ci au canal de fuite, par le moyen « de deux *filtres* ou déversoirs en clayonnages qui présentent une vanne dsns ls partie « la plus basse de leur développement. Cette vanne sert à mettre les enceintes à sec « quand le torrent n'est plus trouble. L'on obtient ainsi des fourrages en été, et l'air « n'est point corrompu par des eaux stagnantes.

« Des expériences faites dans la Maremme toscane, aux rives du fleuve-torrent de « l'Ombrone, à différentes périodes de ses erues, ont donné pour mesure de l'stterris- « sement de $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{15}$ de la hauteur de l'eau... Lorsqu'on fait agir de grands torrents de « cette espèce, il faut que la pente du canal de dérivation soit très-forte jusqu'aux « enceintes *à colmater*, pour qu'il ne s'stterrisse pss lui-même. Il faut encore choisir « entre les périodes des crues, s'il y a quelque moyen de régler le volume des crues. Ainsi « sur l'Ombrone, on opérait entre 2,5 et 4 pieds de crues du fleuve. On doit enfin dériver « les eaux *de fond* à *gueule-bée*, et jamais de surface, et intercepter la dérivation lorsque « la crue diminuant, le courant entraînerait plutôt que d'accroître les alluvions récentes. « Lorsqu'il s'agit de dessécher un lac, un vaste marais, l'on doit commencer par en « élever et reculer graduellement la lisière, afin d'obtenir des bonifications plus « promptes, sans altérer la profondeur des eaux de l'enceinte à colmater. Celle-ci « deviendrait plus insalubre par la corruption rapide des végétaux aquatiques, et pour- « rait même perdre ses *émissaires naturels d'eau*, si l'on abandonnait au vague l'intro- « duction des troubles.

« En 1809, on exécutait une colmate de 8,500 ares; cette opération, entreprise par « l'ordre de Saint-Étienne et par voie d'échange de terrains, avait coûté 314,000 francs, « y compris 20,500 francs pour travsux d'art. A ce prix on transformait, dans le cours « de huit années, en terres labourables, valant 212,000 francs, 85 hectares de mauvais « terrains. Le rapport de la dépense et du produit des colmates est à peu près le même. « Le résultat prouve que les entreprises de cette nature, *sommairement onéreuses*, ne « peuvent être fsites que par de grands propriétaires ou psr l'État, et moins dans la vue « de profits prochains que sous les rapports généraux de salubrité, population et « industrie. »

2° La ressource incertaine des puits artésiens absorbants déjà cités et décrits dsns les articles insérés aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833 à 1835.

3° L'élévation de la portion non vaporisable des eaux accumulées jusque dans un bassin creusé au point le plus bas des terrains; cette opération s'effectue à l'aide de machines mues soit par le vent, soit par des cours d'eau, soit par des animaux ou par la vapeur d'eau.

On voit par tout ce qui précède que le problème des dessèchements est un des plus

épineux à résoudre, parce qu'il se complique de considérations de salubrité publique, d'économie politique, indépendamment de celles relatives à l'agriculture, à la navigation, et indépendamment des difficultés de l'exécution technique. Ainsi, il faut d'abord analyser les causes principales de la submersion et de l'infertilité des marais; et quand cette recherche pénible aura été faite, il y aura, pour modifier l'état présent des choses, à choisir entre une foule de combinaisons qui satisferont mieux à certaines conditions et moins bien à d'autres; les unes exigeront des dépenses premières plus grandes, mais en dispensant ultérieurement d'une partie de frais journaliers; dans d'autres combinaisons, les rapports de dépenses seront en sens inverse. Dans chaque catégorie il y aura ensuite à placer en regard les dépenses de toute nature avec les *résultats qu'elles produiront*; ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, supposons que l'écoulement des eaux puisse se faire à volonté par un seul canal ou par plusieurs; il faudra présenter, de part et d'autre, en ligne de compte, les dépenses d'exécution; le terrain enlevé à l'agriculture par les canaux; les facilités pour la navigation; celles pour les colmatages et les irrigations, etc., etc.

L'étude des projets et l'historique des divers desséchements sont les meilleurs guides pour ce genre d'opérations.

On regrette de ne pouvoir reproduire dans les figures 484 des planches que la carte de : Pl. 97. Fig. 484.

1° L'ensemble des desséchements entre le Petit-Rhône et le canal de Beancaire;

2° Celui des desséchements de la *Braine;*

3° Le plan des desséchements des étangs de Montady et Capestang, dans le Midi, effectués, le premier par écoulement, le deuxième par colmatage.

Il existe, dans les départements de l'ancienne Lorraine et dans d'autres contrées, des marais qui sont alternativement, pendant des séries d'années, à l'état d'étangs ou plutôt de viviers, et à celui de terres arables. Le limon déposé pendant la première période sert d'engrais pour la seconde.

Les ouvrages d'art des canaux d'écoulement souterrains et à ciel ouvert, navigables et non navigables, sont d'ailleurs exécutés d'après les règles générales de la première partie de l'ouvrage et les règles spéciales exposées pour les canaux de navigation proprement dits.

Les canaux de desséchement et souvent les rivières auxquelles ils aboutissent ont besoin d'être fréquemment curés; la négligence apportée à cet entretien a été la cause première de la plupart des submersions de terrains devenus marécageux. Les collections lithographiques de l'École des ponts et chaussées et les *Annales des ponts et chaussées* des années 1831, 1832, 1833 et 1836 fournissent les descriptions et les dessins de divers appareils de dragage employés. On trouvera de plus amples détails sur les desséchements dans les ouvrages de Bélidor, de Dubuat, dans les *Souvenirs polytechniques* de M. Goury, et particulièrement dans les mémoires de M. de Prony sur les marais Pontins, enfin dans les articles publiés par MM. les ingénieurs en chef Grangent et Montluisant, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831 et 1832.

### 1.° *Aqueducs et tuyaux de conduite d'eau, egouts, puits artesiens et puits absorbants.*

Aqueducs et autres ouvrages pour la conduite des eaux potables.

On a déjà mentionné plus haut le cas où des canaux de navigation artificielle devront, comme le canal de l'Ourcq, être en même temps des canaux de conduite d'eau. On a dit qu'il fallait alors donner aux eaux une vitesse de $0^m,20$ à $0^m,25$ par seconde environ, par une pente convenable du fond du lit des biefs, à moins qu'on n'établit des rigoles de communication d'un bief à l'autre.

Les canaux d'irrigation et de dérivation peuvent également servir à la conduite d'eaux potables ; mais généralement les conduites potables ont pour but spécial et unique l'approvisionnement d'eau nécessaire aux lieux habités et aux expéditions maritimes.

La première opération à faire consiste à reconnaître le volume d'eau que l'on aura à conduire dans un temps donné, dans les saisons de pénurie et de plus grande abondance ; s'il est fourni par des sources ou des ruisseaux, les jaugeages doivent en être faits avec soin, et, s'il est possible, pendant plusieurs années. Les figures 485 des planches représentent le mode de jaugeage ordinaire des fontaines.

Pl. 97 Fig. 485.

La deuxième opération consiste à fixer le point d'arrivée des eaux et à établir entre ce point et celui de départ la pente de fond qui, combinée avec les dimensions de la section, débitera le volume d'eau maximum. Ordinairement il y a grand intérêt à placer le plus haut possible le point d'arrivée des eaux pour en effectuer plus facilement ensuite la répartition entre les divers quartiers d'une ville et en atteindre les plus élevés.

L'on ne parlera pas de l'analyse chimique des eaux sous le rapport de la salubrité, ni des moyens d'épuration et de filtrage à simple ou à double courant de haut en bas et de bas en haut, à employer au point de départ ou d'arrivée des eaux. L'on trouvera sur ce dernier objet des renseignements dans deux articles insérés aux *Annales des ponts et chaussées*, l'un déjà cité, approvisionnement d'eau de Greenock, l'autre publié en 1835, intitulé : *Classification et dépuration des eaux*, par feu M. l'ingénieur Genieys.

Les ouvrages de MM. Dubuat, Prony, Bellauger, Genieys, l'*Aide-Mémoire pratique* de M. Morin, capitaine d'artillerie, donnent des méthodes de calcul des pentes et sections d'eau pour les divers cas qui peuvent se présenter.

Pl. 97. Fig. 486.

Si l'eau ne doit pas couler à pleins tuyaux dans la conduite, il ne pourra y avoir aucune contre-pente dans la longueur de la conduite, et l'on ne pourra franchir les abaissements de terrains que par de véritables ponts ou viaducs à un ou plusieurs étages d'arches. Les aqueducs des anciens, entre autres ceux de Jouy près Metz, du pont du Gard, de Ségovie, de Lisbonne, sont des ouvrages d'une grande magnificence, avec lesquels rivalisent, dans les temps modernes, les aqueducs de Marly, Maintenon, Montpellier, en France ; celui de Caserte dans le royaume de Naples, et ceux du pont Cysilty et de Longden, récemment exécutés dans la Grande-Bretagne, avec caisses en fonte. Ils sont représentés dans les figures 459 des planches.

Pl. 92. Fig. 459.

Si les eaux doivent toujours couler à plein tuyau en pressant les parois supérieures

et inférieures de la conduite, on peut jusqu'à une certaine limite, et quand il existe une forte charge d'eau à l'origine, faire descendre la conduite sur le versant d'un coteau pour faire remonter sur le sommet moins élevé du versant opposé. Mais les coudes doivent être arrondis suivant les rayons de courbure les plus grands possible, afin de diminuer les pertes de vitesse; et comme des bulles d'air comprimé pourraient se placer dans les sommets des coudes et interrompre le cours de l'eau, il est indispensable d'en assurer le dégagement par des ventouses. Ces ventouses peuvent être : soit des tuyaux creux verticaux et imperméables s'élevant jusqu'au niveau de la charge d'eau amont; ou bien des soupapes comme celles de sûreté des appareils à vapeur, se soulevant dès que le ressort de l'air comprimé dépasse certaine limite. Pl. 97. Fig 487.

Pour reconnaître facilement les pertes d'eau par filtration et limiter le champ des recherches et des réparations, la conduite d'eau doit présenter, de distance en distance, surtout aux changements de direction en plan et en profil, des regards ou bâches où l'on puisse descendre pour jauger l'eau. Ces ouvrages sont des espèces de puits dont la section horizontale minimum doit être d'un mètre en carré. Ils sont abrités par des cabanes ou simplement fermés par une trappe horizontale cadenassée. Quelquefois on se sert de ces regards, alors approfondis, pour y faire séjourner l'eau et lui faire déposer ses troubles; mais on achète cet avantage par une perte dans la vitesse de l'eau due à l'altération de son régime uniforme.

**Matériaux employés pour la conduite des eaux.**

Les conduites d'eau souterraines ou fermées d'une médiocre dimension peuvent être exécutées :

En bois,

En maçonneries à section rectangulaire ou autre,

En pierres factices ou en poteries à section circulaire,

En tuyaux de fonte de fer,

Enfin en tuyaux de plomb. Pl. 97. Fig 488.

Les tuyaux en bois ont généralement l'inconvénient de communiquer un mauvais goût à l'eau, et ne peuvent convenir pour tenir lieu de tuyaux d'alimentation.

Les conduites d'eau en maçonneries, pierres factices et poteries sont les moins coûteuses à section égale, mais l'expérience a prouvé : 1° que malgré des enduits hydrauliques intérieurs lissés et des chapes extérieures, l'intérieur des canaux s'engorgeait par des dépôts de terres; que des végétations abondantes en rétrécissaient le débouché et parvenaient à la longue à le fermer; 2° que les racines de certains arbres, même à grandes distances (9 à 10 mètres) de la conduite, même lorsque le pied de l'arbre était à plusieurs mètres (3 à 4 mètres) en *contre-bas* du plan de la conduite, étaient si avides d'eau qu'elles s'élevaient et pénétraient à travers les maçonneries et par les joints en mortier. Pl. 98. Fig. 489.

Les conduites en tuyaux de fonte de fer, par les facilités qu'on a de les visiter et de les changer, sont généralement préférées aux précédentes. Mais leur oxydation, favorisée, à ce qu'il paraît, par la composition chimique de quelques eaux, développe Pl. 98. Fig. 490.

fréquemment des tubercules dans la section intérieure, lesquels rétrécissent également le débouché, exigent de fréquentes visites et des nettoyages dispendieux. (Voir, à cet égard, les articles relatifs aux conduites d'eau potable insérés aux *Annales des ponts et chaussées de* 1834, 1835, 1836 et 1837.) Pour obvier aux effets de dilatation

Pl. 98. Fig. 491. et de contraction des tuyaux en fonte, on a établi des *compensateurs* à intervalles équidistants.

Les conduits en plomb n'ont pas les inconvénients précédents; mais on ne peut guère les employer au delà de 15 centimètres de diamètre intérieur. Jusqu'à 7 centimètres, ces tuyaux s'obtiennent aujourd'hui par le laminage en creux, et l'on est dispensé des anciennes soudures longitudinales; mais au delà il faut les couler, et alors la longueur de chaque tuyau ne peut guère aller au delà de 2 à 3 mètres, ce qui multiplie énormément les liaisons et les chances de fuites d'eau.

D'ailleurs, si les charges d'eau sont considérables, il faut des épaisseurs très-fortes en métal, et les chances d'un coulage imparfait seraient plus grandes. D'après les expériences de M. Jardine, d'Edimbourg, citées par M. Navier (page 399 du *Résumé des leçons*), un tuyau de plomb de $1^{p}\frac{1}{2}$ anglais ($0^{m},0375$) de diamètre et de $\frac{1}{5}$ pouce ($0^{m},005$) d'épaisseur a supporté sans altération apparente la pression d'une colonne d'eau de 1000 pieds (300 mètres) de hauteur, et s'est rompu sous celle de 1200 pieds (360 mètres). Un autre tuyau de $2^{p}$ anglais ($0^{m},05$) de diamètre, également de $\frac{1}{5}$ de pouce ($0^{m},005$) d'épaisseur, a supporté sans altération apparente une colonne de 860 pieds (240 mètres), et a rompu sous celle de 1000 pieds (300 mètres.)

Pour des épreuves de recette de 3,400 mètres courants de tuyaux creux laminés en plomb, destinés à la distribution des eaux potables du port de Lorient, on avait stipulé et obtenu que ces tuyaux de $0^{m},055$ (2 pouces) de diamètre intérieur, de $4^{mill.},50$ (2 lignes) d'épaisseur, et pesant $9^{kil.},30$ le mètre courant, supporteraient la charge d'une colonne d'eau de 80 mètres de hauteur, sans éprouver d'altération apparente et sans laisser suinter l'eau.

Les tuyaux en pierres factices, poteries et fonte de fer, comme ceux en plomb, doivent être essayés avant l'emploi, sous une charge au moins quintuple de la charge à laquelle ils auront à résister, et il serait utile même d'éprouver également plusieurs de ces *tuyaux réunis* pour apprécier la résistance des liaisons.

Pl. 98. Fig. 492. Dans les zones où des tuyaux souterrains sont exposés à de fortes charges mobiles ou éventuelles, il est nécessaire, quand ils ne sont pas renfermés sous des galeries naturelles, de les envelopper par une maçonnerie en pierres sèches; pour éviter l'action des gelées, on les entoure aussi de sable ou d'argile. Quelle que soit l'espèce des tuyaux employés, il peut être préférable, dans beaucoup de cas, de substituer deux conduites égales à une seule, et d'établir de distance en distance des raccordements facultatifs entre elles, afin d'assurer la continuité d'écoulement de l'eau dans toutes les circonstances des réparations.

Dans une conduite d'un grand développement, les charges des tuyaux à l'origine et

à l'extrémité aval varient entre des limites très-éloignées. Il y aura donc quelquefois économie à partager la conduite en un certain nombre de zones où la résistance des tuyaux serait la même, mais toujours moindre d'une zone à l'autre en remontant vers l'amont.

Lorsque des robinets de distribution sont placés sur une conduite en fonte de fer ou en plomb, et qu'on les ferme brusquement, il en résulte presque toujours, et par un effet analogue à celui du bélier hydraulique, la rupture des tuyaux en arrière des robinets. On prévient ces accidents en plaçant sur ces points une ventouse à tuyau ou à flotteur, ou une soupape de sûreté. Les figures 493 des planches représentent une ventouse à flotteur. Pl. 98 et 99 Fig. 493 et 493 bis.

Les grandes variations entre les sources alimentaires des conduites d'eau et les consommations ont fait adjoindre à la plupart des conduites d'eau, des réservoirs pour emmagasiner l'eau en excédant des besoins et la conserver pour les temps de pénurie. Les eaux contenues dans les réservoirs doivent toujours être traversées et mélangées avec les eaux *vives* affluentes, afin de ne pas s'altérer par un trop long séjour. C'est également pour un motif de salubrité que les réservoirs sont en maçonnerie, et abrités par des voûtes ou des toitures ordinaires qui laissent libre la ventilation par l'air extérieur. L'intérieur de ces réservoirs doit être enduit avec le plus grand soin en mortier très-hydraulique ou tapissé en plomb laminé. Le calcul des dimensions des parois de ces réservoirs est fait suivant les règles indiquées précédemment. La section horizontale circulaire est celle qui, sous un périmètre donné, contient le plus de surface, et qui par sa forme oppose aussi la plus grande résistance à la poussée des terres, quand les réservoirs sont enfoncés sous le sol. Ces réservoirs, dont le radier est en pente, doivent être munis : 1° d'un tuyau de vidange de fond, fermé par une ventelle ou un clapet; 2° d'un tuyau de trop-plein dont l'orifice soit au niveau fixé pour l'eau en réserve. De plus, pour assurer la continuité du service des eaux en cas de réparation du réservoir, il y aura un tuyau facultatif de communication entre celui d'arrivée des eaux au réservoir et celui de départ. Réservoirs d'eau.

On trouvera des détails intéressants sur les conduites d'eau et réservoirs dans l'article déjà plusieurs fois cité, intitulé : *Approvisionnements d'eau de Greenock*, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* (tome I<sup>er</sup>, 1<sup>re</sup> série), et dans un ouvrage spécial du feu M. Genieys, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sur la *Distribution des eaux dans Paris*. La pose au fond des rivières de conduites d'eau transversales fait aussi l'objet d'un article de MM. les ingénieurs Mary et Michal, inséré en 1835 aux mêmes *Annales*.

Les aqueducs ou égouts sont disposés sur une section bien supérieure au débouché nécessaire à leur destination, mais telle que l'on puisse les faire visiter et réparer en tout temps. Une largeur d'un mètre sur une hauteur de 2 mètres sont les dimensions maximum des égouts de Paris; les piédroits des murs vont en s'éloignant jusqu'à la naissance des voûtes cylindriques, de manière à présenter au maximum $0^m,90$ de largeur dans le bas et $1^m,10$ dans le haut. Comme dans ces ouvrages les eaux de filtration sont rarement une gêne, on peut, pour ne pas avoir à tenir compte de la poussée de l'eau, la Aqueducs et égouts. Pl. 99. Fig 494.

laisser entrer dans les égouts ou aqueducs par de nombreux créneaux réservés dans les piédroits.

La décharge des eaux pluviales et de lavage se fait, dans les égouts, soit par des puits verticaux qui, placés dans l'axe des égouts, interrompent la voûte; soit par des puits spéciaux, communiquant avec les égouts. Cette communication est effectuée par des tuyaux en fonte, ou par des aqueducs secondaires de raccordement. Les nouvelles *bouches sous-trottoirs* ont été ainsi établies à Paris par M. l'ingénieur en chef Emmery.

Pl. 99 Fig. 495.

Pour les visites et réparations des égouts, il y a de distance en distance des regards ou puits verticaux, fermés par des trappes. Enfin, pour dégager l'air comprimé et assainir les égouts, on établit des ventouses à tuyaux verticaux et soupapes à leur partie supérieure; ou bien l'on met cette partie en communication avec les tuyaux de descente des maisons d'habitation.

Pl. 100. Fig. 496.

La pente des égouts ne saurait être trop rapide, car on peut toujours, pour faciliter le cheminement souterrain des hommes, la morceler au besoin par de petites chutes ou degrés. A Paris, on a adopté un minimum de 1 millimètre par mètre de pente longitudinale. On dispose le radier transversalement en arc de cercle, avec flèche de $\frac{1}{10}$ de la corde.

Les égouts de la ville de Paris, présentant un développement de 50,000 mètres, ont été l'objet d'études approfondies dont les résultats aujourd'hui obtenus sont consignés dans deux articles très-remarquables de M. l'ingénieur en chef Emmery, insérés aux *Annales des ponts et chaussées de* 1834 et 1836. On y trouvera des solutions pour les principales difficultés que les dispositions de ce genre d'ouvrages présentent, quand il faut les combiner avec le minimum de dépense d'arrosage et de lavage et la plus prompte évacuation des eaux de toute espèce, même des quartiers les plus bas d'une grande ville.

Puits artésiens.

Les puits artésiens pour l'ascension de l'eau, pratiqués de tout temps dans l'ancienne province de l'Artois, ont depuis quelques années été multipliés sur divers points de la France et à l'étranger, partout où la constitution géologique du sol présentait des chances de réussite. Les figures 497 des planches indiquent quelques-uns des terrains où des sources artésiennes ont été rencontrées. Un grand nombre de besoins publics et industriels ont pu être satisfaits par les sources souterraines. On a profité de la chaleur constante de leurs eaux pour plusieurs usages, et il est probable qu'on reconnaîtra dans quelques-unes d'entre elles des propriétés hygiéniques. On renvoie, pour les détails techniques et moyens de forage, à l'ouvrage intitulé : *Traité sur les puits artésiens*, de M. l'ingénieur Garnier; aux *Annales des mines*, et à un mémoire intitulé : *Essai de sondage par le procédé chinois*.

Pl. 100 Fig. 497.

On y verra de quelle importance est la forme des outils de forage suivant les diverses couches de terrain qu'ils doivent entamer; quelles sont les grandeurs, formes et dispositions des coffres et buses superposés et concentriques qui contiennent les tiges de l'instrument et ont pour objet d'empêcher les engorgements par le sable; comment on

applique la force motrice nécessaire à l'enfoncement des coffres, à l'enfoncement et à la rotation de la sonde, et aux soulèvement et enlèvement facultatifs d'un appareil qui, fonctionnant quelquefois à beaucoup plus de 200 mètres de profondeur, est d'un poids très-considérable. Les figures 498 des planches se rapportent à ces divers objets. Pl. 100. Fig. 498.

On fera remarquer qu'il est très-essentiel de ménager des moyen d'évacuation permanents à l'eau ascensionnelle, si l'on ne veut s'exposer à des soulèvements dangereux ou à des submersions locales.

Puits absorbants. L'emploi des puits artésiens pour l'absorption des eaux superficielles est plus récent, et il a été constaté qu'il était possible, du moins dans les terrains des alentours de Paris, d'évacuer souterrainement jusqu'à 100 mètres cubes de liquide par heure, par des nappes artésiennes inférieures à celles d'alimentation des puits domestiques et sans infecter ces derniers par les eaux *impures prises même dans les voiries*. Les figures 499 des planches indiquent un puits de ce genre établi à Paris près la barrière du Combat. On est parvenu dans le même puits, et par des tuyaux concentriques, à recueillir les eaux ascensionnelles des nappes inférieures, et à la fois à faire écouler les eaux superficielles par les nappes les plus près de la surface. Ce système conviendrait pour le desséchement des marais, leurs irrigations et mise en culture. Pl. 100. Fig. 499.

On trouvera les détails de ces faits remarquables dans les articles publiés par M. l'ingénieur Emmery, en 1833 et 1835, aux *Annales des ponts et chaussées*.

# CINQUIÈME ET DERNIÈRE PARTIE.

## DES OUVRAGES RELATIFS A LA NAVIGATION MARITIME EXTÉRIEURE.

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE ET UNIÈME LEÇON.

DU VENT. — DES ONDULATIONS. — DES LAMES ET VAGUES. — DES DÉNIVELLATIONS DES MARÉES. — DES COURANTS DE MARÉE ET AUTRES GÉNÉRAUX. — EFFETS DES MARÉES SUR LES FLEUVES DÉBOUCHANT A LA MER. — DESTRUCTION DES CÔTES. — ALLUVIONS. — ATTERRISSEMENTS.

Feu M. Lamblardie père, dans l'analyse du *Cours d'architecture* (constructions hydrauliques) qu'il avait fait à l'École polytechnique, analyse résumée au premier cahier du journal de cette école, s'exprime ainsi sur les ouvrages relatifs à la navigation extérieure :

« De toutes les parties de la science de l'ingénieur, celle qui traite de la construction des ports maritimes et des rades est encore la moins avancée ; nous n'avons sur cet objet intéressant que la description de quelques ouvrages anciennement exécutés, et très-peu de grands principes qui puissent guider sur la manière de bien projeter.

« Nous devons au célèbre Vauban les premiers travaux de ce genre ; ils se trouvent décrits dans l'architecture hydraulique de Bélidor, mais on a trop peu d'observations sur leurs défauts. En effet, Vauban, plus occupé de l'art militaire, et surtout de l'attaque et de la défense des places de l'intérieur que des ouvrages maritimes, n'a jamais pu consacrer tout le temps nécessaire pour observer les rivages de la mer et ses effets. Cependant ce n'est que par des observations constantes et réitérées sur les mouvements de la mer, la direction et l'effet du vent, le gisement des côtes, la destruction des rivages, etc., que l'on pourra parvenir à établir les principes qui doivent servir à projeter convenablement et à bien construire les ouvrages maritimes. Il ne paraît pas qu'on ait fait encore ou au moins publié beaucoup d'observations de ce genre. Aussi depuis

Vauban, et presque jusqu'à nos jours, on a pour ainsi dire servilement copié les projets que cet ingénieur a fait exécuter. »

L'objet de cette dernière partie du présent résumé est de réduire un peu la grandeur de la lacune que feu M. Lamblardie signalait.

Définitions. Un port en général est un espace plus ou moins étendu que l'eau remplit constamment ou par intermittences, dans lequel des navires d'un tirant d'eau et de dimensions plus ou moins considérables peuvent se réfugier pour échapper à l'ennemi et au mauvais temps, pour se réparer ou pour prendre leur chargement et opérer leur déchargement.

Une rade est un espace de mer en avant d'un port et dans lequel les navires doivent trouver toujours une profondeur d'eau suffisante pour mouiller, et un fond assez mou pour s'ancrer et assez résistant toutefois pour que les navires puissent y tenir dans les tempêtes. Les convois s'y rassemblent; les bâtiments y attendent le moment favorable, soit pour sortir, soit pour entrer.

Les rades sans abri, exposées aux vents régnants, s'appellent *rades foraines*. Les rades de *relâche* sont celles qui sont isolées sur la côte et qui n'ont aucun port en arrière d'elles.

Les ports et rades sont de deux espèces : ceux qui sont sujets à des dénivellations périodiques ou marées, comme les ports et rades des côtes de l'Océan, et ceux où ces dénivellations sont peu considérables ou à peine sensibles, comme dans les ports et rades de la Méditerranée, de la Baltique, de la mer Caspienne, etc., etc.

Les uns et les autres se classent en ports et rades de commerce, ports et rades militaires.

Les deux espèces de rades, dans le voisinage des grandes places commerciales et des points militaires, doivent présenter de petites rades isolées pour les quarantaines, et

Pl. 101. Fig. 500. voisines des lazarets. La rade de Pomègue, à Marseille, indiquée dans les figures 500 des planches, est une des mieux appropriées aux besoins du service sanitaire.

Dans les ports sujets aux marées, on distingue les ports d'*échouage*, c'est-à-dire ceux qui ne conservent pas naturellement, dans les basses mers, assez d'eau pour le mouillage des navires qui peuvent y entrer ou en sortir à la marée haute.

Ces ports d'échouage n'étant pas accessibles aux basses mers, et ne l'étant souvent qu'à haute mer, ont besoin plus que tous autres de rades extérieures où les bâtiments puissent dans les mauvais temps jeter l'ancre, jusqu'au moment où la marée leur procure une profondeur d'eau suffisante pour atteindre le port.

Les ports sont tantôt placés sur les côtes, comme ceux de Dunkerque, Calais, Dieppe, Cherbourg, Saint-Malo, la Rochelle, Port-Vendres, Cette, Marseille et Toulon; tantôt à l'embouchure des fleuves ou rivières considérables, comme le Havre, Brest, Lorient, etc., etc., ou dans l'intérieur de ces fleuves, comme les ports d'Anvers, Londres, Liverpool, à l'étranger; Rouen, Nantes, Rochefort, Bordeaux, Bayonne, en France.

Généralement les ports sans marées notables sont situés à la côte, parce que là seulement on pouvait obtenir une hauteur d'eau suffisante.

Mais avant d'entrer dans les détails relatifs aux ports et aux rades, on va exposer les principaux phénomènes que présente la mer.

Du vent.

Le vent qui, jusque dans ces derniers temps, était le principal moteur de la navigation extérieure, soit de cabotage et le long des côtes, soit de long cours, règne sur la mer dans toutes les directions. Il est des latitudes, sous les tropiques, où sa direction varie régulièrement et à époques déterminées.

Mais sur les côtes de l'Océan et de la Méditerranée, il n'y a aucune régularité ni dans sa direction, ni dans sa force. Seulement dans les divers pays il y a des vents *régnants* bien déterminés, et qui sont assez généralement ceux des tempêtes. Ainsi, dans la Manche et sur les côtes nord de la Bretagne, ce sont les vents du sud-ouest et d'ouest ; sur les côtes sud de la Bretagne et jusqu'aux Pyrénées, ce sont les vents compris entre l'ouest et le sud ; enfin, dans la Méditerranée les vents régnant sont : le *sirocco* ou levante, dit aussi vent marin, qui souffle du sud-est ; le sud-ouest dit *libeccio*, et le *mistral* soufflant du nord-est et venant de terre ; enfin le *tramontano* soufflant du sud.

On sait que la vitesse et la force du vent varient entre des limites très-distantes, et qu'elles sont évaluées comme suit, en supposant que les efforts du vent croissent comme les carrés des vitesses :

*Annuaire du bureau des Longitudes de 1818.*

| QUALIFICATION DU VENT. | VITESSE par seconde. | EFFORT DU VENT dans le sens de sa direction sur une surface normale et par mètre carré. |
|---|---|---|
| | m. | kil. |
| Brise légère | 0,50 | 0,027 |
| Brise douce | 1,00 | 0,1086 |
| Vent médiocre | 2,00 | 0,4344 |
| Vent assez fort | 5,50 | 3,285 |
| Vent fort | 10,00 | 10,86 |
| Vent très-fort | 20,00 | 43,44 |
| Tempête | 22,50 | 55,00 |
| Grande tempête | 27,00 | 79,20 |
| Ouragans | 36,00 | 140,74 |
| Ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres | 45,00 | 220,00 |

On sait aussi que, dans les pays de plaine, la direction du vent est descendante et fait avec l'horizon un angle d'environ 18°20'.

Il résulte de cette direction et des vitesses précédentes que le vent, suivant qu'il souffle dans le sens d'un cours d'eau ou dans le sens opposé, peut, par son action sur les couches superficielles de l'eau, accélérer ou retarder leur marche et y déterminer de plus comme dans une eau tranquille des dépressions alternant avec des gonflements. Ces reliefs et creux d'eau s'appellent *ondes*, *lames* ou *vagues*; ils sont d'autant plus forts que

le vent règne sur une plus grande étendue d'eau et souffle plus longtemps dans la même direction et avec la même intensité.

Lorsque sa direction est en sens opposé à celle des courants de l'eau, ou bien lorsque cette direction passe *subitement* elle-même en sens opposé, enfin lorsque des vents de terre rencontrent des lames formées au large par des vents soufflant vers les côtes, la mer devient *très-houleuse*. C'est même là un signe météorologique bien connu des marins.

Pour donner une idée de l'action du vent sur les eaux tranquilles, Franklin rapporte que sur une vaste pièce d'eau de 3 lieues (13500 mètres) de large, 3 pieds anglais ($0^m,90$) de profondeur, un vent fort mit à sec tout un côté de cette sorte d'étang, et en même temps éleva de 3 pieds ($0^m,90$) le niveau primitif sur la rive opposée; en sorte que la profondeur de l'eau y était parvenue à 6 pieds ($1^m,80$) au lieu de 3 pieds.

**Des ondulations, lames et vagues.**

Le vent par son action sur les matières ténues et mobiles, comme le sable, peut aussi leur servir de véhicule dans l'air, ou les faire cheminer progressivement dans sa direction, comme dans les dunes de plusieurs côtes maritimes, et notamment dans celles du golfe de Gascogne.

On appelle *ondulations* les exhaussements et abaissements des oscillations alternatives des eaux dans le sens vertical; les *lames* sont des ondulations allongées telles qu'elles existent en pleine mer, dans des eaux profondes ou sur les côtes par un temps calme. Les vagues sont des lames violentes déterminées par les ouragans et brisant sur des hauts-fonds, des récifs, ou sur des côtes abruptes.

On trouvera dans l'ouvrage de Brémontier intitulé : *Recherches sur le mouvement des ondes;* dans des articles de M. Poncelet, académicien, et de M. l'ingénieur Virla, insérés en 1831 et 1835 dans les *Annales des ponts et chaussées*; dans l'ouvrage de M. le colonel Emy, intitulé: *Mouvement des ondes*, des observations et des explications plus ou moins plausibles relatives au jeu des ondulations.

On se bornera à rappeler ici qu'une onde se compose d'un relief au-dessus du niveau de l'eau calme, et de deux demi-creux latéraux; que les ondes par elles-mêmes n'ont, malgré leurs mouvements apparents de translation, qu'un simple mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement, tel que si l'on place à leur surface un corps flottant, il ne quitte point la verticale ou que s'il s'en écarte, c'est particulièrement vers le milieu du flanc de chaque onde.

On a comparé avec vérité ce mouvement des eaux à celui d'une vis à filet qu'on fait tourner sur des points fixes, et aux ondes que forment les épis d'un champ battus par le vent.

Les ondes ne modifient point le cours naturel des eaux sur lesquelles elles se développent; ainsi un corps flottant à la surface des eaux d'un courant chemine avec le courant malgré les ondulations superficielles.

Celui-ci les entraîne avec sa vitesse sans rien changer au mécanisme de leur mouvement d'oscillation; ainsi, suivant que les ondes marchent en sens contraire ou dans le même

sens que le courant, leur vitesse *apparente* est la différence ou la somme de leur vitesse *propre* et de celle du courant, en appelant *vitesse propre* des ondes celle qu'elles auraient si l'eau était stagnante. L'on a observé quelquefois cependant, dit M. le colonel Emy, à l'embouchure des fleuves, que la vitesse des ondes venant de la mer étant sensiblement égale à celle du courant fluvial, il se manifestait à la surface du fleuve des *bourrelets immobiles* à la forme desquels le courant était forcé de se plier.

Les ondulations dues au vent, ou à toute autre cause, peuvent se superposer sur des ondulations préexistantes provenant de causes semblables ou différentes. Enfin l'expérience prouve que des ondulations pourraient se croiser en tous sens, comme les ondulations lumineuses ou sonores, et sans être arrêtées ni morcelées les unes par les autres. Il peut arriver seulement, ainsi que Brémontier l'a remarqué, que deux flots d'ondulations *distinctes* coïncident à des intervalles de temps plus ou moins éloignés, et occasionnent périodiquement des lames plus élevées que celles qui les précèdent ou suivent.

Les directions des ondes liquides sont d'ailleurs susceptibles d'être infléchies, réfléchies comme des rayons sonores ou lumineux. On appelle *lames de réflexion* celles qui éprouvent des déviations.

M. le colonel Emy attribue les espaces sans vagues que l'on remarque quelquefois au milieu de l'agitation de la surface de la mer, à des vagues égales et superficielles, marchant dans le même sens, avec une petite différence de vitesse, et dont la combinaison forme une contrariété de mouvement qui détruit immédiatement toute ondulation au point où ces vagues s'atteignent, et jusqu'à ce que d'autres ondes s'y soient propagées de nouveau.

Le même auteur attribue l'effet nommé *clapotage* à deux ondulations égales superficielles se propageant dans des directions opposées. Il le décrit comme suit : « Quand il est simple, il produit l'apparence de deux ondulations égales très-aiguës, qui se pénètrent et se montrent alternativement, les flots de l'une s'élevant à la place de ceux de l'autre, sans aucune translation horizontale de leurs formes, mouvement qui a quelque ressemblance avec celui des clapets et soupapes des pompes.

Du clapotage.

Pl. 101. Fig. 301.

« Le clapotage multiple résulte de deux ou plusieurs clapotages simples qui se croisent ; les flots du clapotage sont alors comme *mamelonnés*. Dans un clapotage double, les flots sont distribués dans les losanges que dessinent les zones sur lesquelles les molécules de l'eau ont le moins de mouvement.

« Il arrive fréquemment que le clapotage, même multiple, se combine avec des ondulations courantes, simples ou multiples, de façon que les ondulations clapoteuses paraissent s'agiter sur les grandes ondes de la même manière que nous avons vu de petites ondes se propager sur les grandes. »

Les ondulations, quand elles proviennent d'une cause instantanée, comme la chute d'un corps, se transmettent par anneaux circulaires concentriques, d'abord d'un faible relief et creux, puis grossissant jusqu'à une certaine distance. Brémontier a cru remarquer que le maximum correspondait au septième anneau, et que l'onde s'affaiblissait

ensuite de niveau et progressivement. Les oscillations de l'eau dans ces divers anneaux, comme dans les ondulations produites par l'action continue du vent, sont *isochrones*.

Pl. 101. Fig. 502. Cette analogie avec les oscillations de l'eau dans un tube recourbé semble corroborer l'assimilation faite par Newton, et admise jusqu'à ce jour, entre les ondulations des eaux dues au vent ou à d'autres causes, et les oscillations de l'eau dans un siphon rectiligne ou curviligne. L'équivalence des surfaces de creux et de gonflement d'une ondulation fluide et l'incompressibilité de l'eau semblent venir à l'appui de cette hypothèse, qui est toutefois combattue aujourd'hui par des ingénieurs distingués, et particulièrement par M. le colonel du génie Emy. (Voir les *Annales des ponts et chaussées de* 1837.)

**Hypothèses sur les ondulations.**

Pl. 101. Fig. 503. Ce dernier, par des inductions extrêmement ingénieuses, est arrivé à considérer les molécules d'eau des ondes comme animées de mouvements *orbitaires* simples ou complexes dont les croisements forment les surfaces apparentes des ondes Il explique par là d'une manière plausible un grand nombre des faits observés sur les ondes : toutefois ce système rencontre aussi de nombreux contradicteurs, surtout dans les explications relatives aux croisements d'ondulations *multiples simultanées*.

Dans la première hypothèse, plus généralement admise, le mouvement vertical des molécules liquides serait transformé, *à la limite inférieure de l'agitation de la mer*, en mouvement horizontal de communication entre les eaux déprimées dans une des branches d'un siphon et exhaussées dans l'autre.

**Profondeur de l'agitation de la mer.**

On avait pensé longtemps que l'agitation de la mer s'arrêtait à une profondeur d'environ 5 mètres en contre-bas du *niveau de l'eau calme*. Cette opinion est encore accréditée dans la Méditerranée. Mais Brémontier a prouvé que cette agitation dans les tempêtes s'étendait, dans beaucoup de cas, à des profondeurs énormes, et qu'au banc de Terre-Neuve, entre autres, elle descendait jusqu'à 160 mètres.

Au sud du cap de Bonne-Espérance, la mer est houleuse sur des rehaussements de fond où il reste encore plus de 200 mètres de profondeur. Des faits nombreux plus récents, observés à Cherbourg, ont confirmé que si, dans les tempêtes, l'agitation superficielle de la mer y diminuait *dans le même point* avec la profondeur des eaux, elle n'y était point éteinte à 5 mètres de profondeur. Mais il est évident aussi que de la violence de cette agitation dépendra la limite en profondeur où le trouble superficiel cesse d'être sensible.

La hauteur *ordinaire* entre le sommet et le creux des vagues, se *développant librement*, est de 4 à 5 mètres près de Cherbourg ; de 6 à 7 mètres dans le golfe de Gascogne ; de 3 mètres à $4^{m},50$ dans la Méditerranée ; de $2^{m},60$ dans le lac de Genève.

D'après Brémontier, les ondes ou les lames ordinaires ont pour base (distance horizontale d'un creux à l'autre) quatre fois la demi-distance entre leurs creux et leurs sommets. M. l'ingénieur Virla, partant du principe d'assimilation de Newton, a trouvé pour la courbe d'une ondulation *développée librement* la projection d'une hélice sur un plan passant par l'axe d'un cylindre horizontal dont la base serait un cercle. Ce cercle aurait un rayon égal à la demi-différence entre le fond du creux et le sommet de l'onde. Cette

**Formes et dimensions des ondes.**

Pl. 101. Fig. 504.

courbe reproduit assez bien, par sa forme, à la fois les ondes déterminées par la chute d'un corps grave et celles des grandes ondulations ou intumescences des marées.

Les vagues prennent une forme inclinée dans les ouragans par l'effet de pression qn'un vent violent oxerce sur leurs flancs; elle est représentée dans les figures 505 des planches. Pl. 101. Fig. 505. La percussion do cette espèce de vagues contro une côte *accore* est beaucoup plus forte quo quand les ondes ont leurs axes verticanx; parce qu'indépendamment de leur inclinaison, elles sont ordinairement animées d'une grande vitesse.

Lorsque le vent acquiert tout à coup uno grando intensité, et que sa direction du reste, inclinée à l'horizon, coïncide à peu près en plan avec celle des ondes, soit dans le même sens, soit dans le sens contraire, il se manifeste un effet connn sous le nom de *moutonnement*, représenté daus les figures 506 des planches. Pl. 101. Fig. 506. La mer, vuo alors de quelque distance, semble couverte de moutons; de là l'allégorie mythologiquo du pasteur *Protée*.

M. Virla est arrivé pour le temps d'nne oscillation double ou le temps qu'nne onde met à s'élever et à s'abaisser à $T = \frac{2\pi}{n}$ ($n$ étant un coefficient qni dépend de la durée de l'onde double); puis supposant quc le mouvement des molécules liquides sipbonantes reste vertical jusqu'à la limite inférieure de l'agitation, et appelant $h$ la profondeur verticale de l'agitation, L la longueur do l'ondulation ou la distance horizontalc cntre deux creux consécutifs, $v$ la vitesse d'une oscillation par seconde $= \frac{L}{T}$, il pose, d'accord avec les observations de Bremontier,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{4h+L}{4g}} \quad v = \frac{L}{\pi}\sqrt{\frac{g}{4h+L}} \quad L = \frac{v\pi}{2g}\left(v\pi \pm \sqrt{16g^2h+1}\right).$$

Il ressort de ces formules : que la durée d'une oscillation augmente avcc la longueur des ondes et avec la profondeur de l'agitation; qne la vitesse augmentc aussi avec la longueur, mais diminue avec la profondeur de l'agitation; qne ces expressions sont indépendantes de la hauteur de l'ondulation; d'où il s'ensuivrait que dans des lames dont la hauteur est faible et qui ont une grande longueur, l'agitation pourrait oncore s'étendre sur des hauts-fonds placés à un niveau très-bas. On a observé dos ondes qui n'avaient que 5 centimètres de hauteur pour 30 mètres d'amplitude.

M. Virla, partant des données d'expériences du port de Cherbourg, où par un vent du nord forcé, *mais sans tempête*, l'on avait observé T = 6"50, L = 26 mèt. $v$ = 4 mèt., arrive à $h$ = 4m,25.

Pour d'autres données ou $h$ = 15 mèt., $v$ = 3 mètres, il a obtenu L = 28 mèt., ce qui, en adoptant la proportion de 4 : 1 pour la hauteur, correspondrait à 7 mètres de hauteur des vagues. M. Virla trouve $h$ = 99 mètres pour les grandes ondes do 40 mètres de longueur et 20 mètres de vitesse; enfin, pour des vagues de 60 mètres de longueur avec une profondeur d'agitation de 160 mètres, la vitesse des ondes serait de 2m,22, et la durée de leur oscillation de 27".

D'après les observations dc M. Vionnois, ingénieur des ponts et chaussées, les vagues,

dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, ont dans les tempêtes des amplitudes de 300 à 400 mèt., et des vitesses d'oscillation de 13 et 20 mèt. par seconde.

Si en contre-haut du point de la profondeur des eaux où cesse l'agitation des hauts-fonds, les ondulations de la mer rencontraient des récifs, ou si, à la profondeur de leurs creux visibles, elles rencontraient des plages verticales ou diversement inclinées à l'horizon, il y aurait des effets très-variés et qui dépendraient de la direction de ces plages par rapport aux vents régnants.

Bremontier cite, dans les §§ 31, 32, 33 et 34 de son ouvrage, des gonflements de vagues de 2 et 3 mètres de hauteur occasionnés par des rochers qui étaient à 9, 12 et même 13 mètres au-dessous du niveau de la mer calme, tandis que les vagues ne se brisaient point à l'entour d'autres rochers où la profondeur d'eau n'était que de 6 à 7 mètres. D'un autre côté, il est notoire qu'un simple resserrement superficiel à l'entrée d'un bassin d'une grande étendue opéré avec des corps flottants immergés de $0^m,20$ à $0^m,30$, et émergés d'autant, suffit pour rendre la mer beaucoup plus houleuse dans le passage quand les vagues arrivent perpendiculairement à ce débouché resserré.

Raccourcissement des ondes, clapotage, ressac.

M. Virla explique les effets produits par une paroi abrupte, à la fois immergée et en saillie sur l'eau, connus sous le nom de *raccourcissement des ondes*, en faisant observer que les ondes réfléchies par la paroi et l'ondulation directe marchant dans des sens opposés, les vitesses des eaux siphonantes s'ajoutent ou se retranchent selon que deux flots ou deux creux d'ondulation se rencontrent, et que l'effet de la réflexion est ainsi d'augmenter la hauteur et le creux des lames sans agir sur leur longueur. Dans la Méditerranée, les lames sont plus courtes que dans l'Océan, probablement à raison du grand périmètre des côtes relativement à l'étendue superficielle des eaux.

Si l'augmentation de pression qui produit le raccourcissement des ondes devient considérable, elle rend les flots très-aigus; l'eau soulevée se brise et tombe en écumant, ou clapote. Ce même effet est encore produit quand le fond de la mer est parsemé d'une foule de monticules ou de rochers en contre-haut de la limite où l'agitation est insensible.

Enfin, la rencontre d'une lame *reflechie* et *raccourcie* avec de grandes lames venant du large produit souvent dans les tempêtes une réaction violente qu'on nomme *ressac*, laquelle est un peu au large de l'obstacle qui a donné lieu au raccourcissement des ondes réfléchies.

M. le colonel Emy décrit ainsi le ressac :

« La vague repoussée et en partie brisée en écume est remplacée par un creux « beaucoup plus profond que ceux des autres ondes précédentes, et qui peut laisser « l'accore à sec lorsque son pied n'est pas à une grande profondeur : on dirait que la « mer se retire subitement. Mais l'eau revient bientôt; elle semble se balancer : elle « est *clapoteuse*. Dès qu'un commencement de repos, qui succède presque toujours à « cette espèce de tourmente, permet l'arrivée d'une nouvelle vague contre l'accore, il « se fait une nouvelle répulsion de la masse liquide. On a observé de ces effets dans

« le voisinage des immenses montagnes de glaces des mers polaires. Les bâtiments « mouillés dans le voisinage de l'accore, déjà ballottés par les ondes directes, et « surtout par les ondes clapoteuses, sont très-fatigués des saccades multipliées et « intermittentes du ressac. Dans l'Océan, l'effet du ressac s'affaiblit et s'éteint en s'éloi- « gnant beaucoup et à environ 600 mètres de l'obstacle qui le produit, parce qu'une « côte opposée ne contribue point à l'entretenir. Mais sur les lacs resserrés à côtes « accores, comme celui de Wallenstadt en Suisse, qui n'a qu'une lieue de largeur sur « 4 de longueur, et qui est très-profond, on remarque que quand le vent souffle avec « force perpendiculairement à la longueur, les flots se dressent en vagues énormes « comme les rochers à pic entre lesquels ce lac est encaissé. »

Si la paroi abrupte, dont il a été question ci-dessus, se termine à peu de distance au-dessus de la surface de la *mer calme*, les réflexions qui résultent de la partie immergée de la paroi déterminent un surhaussement dans les lames ou un raccourcissement d'ondes. Mais de plus, la portion de la vague qui s'élève au-dessus de la crête de la paroi, ne rencontrant aucun obstacle, chemine vers l'intérieur de la côte avec une vitesse beaucoup plus grande que celle de l'ondulation originelle. Pl. 101. Fig. 507.

Lorsque, au lieu d'une paroi abrupte, les lames frappent une surface à pente douce, *à la profondeur où règne l'agitation*, la transmission horizontale des pressions sera modifiée. L'expérience, d'accord avec le raisonnement, prouve que la vitesse ascensionnelle de l'eau siphonante sera augmentée; que la sommité des vagues atteindra des points plus élevés au-dessus du niveau de l'eau calme que si la côte avait été abrupte; que cette surélévation croîtra d'un flot à l'autre jusqu'à ce que le dernier flot présente presque un flanc vertical vers la plage, moment où il déferlera, en vertu de la vitesse horizontale due à sa plus grande hauteur. La rencontre de la lame déferlée, dite *lame de retour*, qui redescend la plage, avec la lame nouvelle qui la remonte, rend encore plus aiguë la forme du nouveau flot qui se brise à son tour.

Lames de retour. Pl. 101. Fig. 508.

Des expériences rapportées par Bremontier (pages 40 et 44) tendaient à faire correspondre un plan incliné de 22° de pente à l'horizon avec le maximum de hauteur du déferlement des vagues; mais ces expériences auraient besoin d'être répétées. Le seul fait qu'on puisse considérer comme avéré, c'est que l'excédant en hauteur de l'ascension des vagues sur un plan incliné croît à mesure que ce plan s'abaisse depuis la limite de 90° où l'excédant est zéro, jusqu'à un angle indéterminé qui correspond au maximum; et que cet excédant décroît ensuite jusqu'à zéro, depuis cet angle jusqu'au moment où le plan arrive à la position horizontale.

Dans beaucoup de côtes et d'ouvrages hydrauliques, la forme inclinée de la plage se termine vers le haut avec ou sans raccordement par une paroi abrupte; alors il y a accumulation des effets indiqués ci-dessus pour chaque cas en particulier.

Si le niveau général de l'eau monte et descend, si des courants de flot et jusant résultant des dénivellations de la marée, si la direction des vents d'ouragan con-

courent avec les ondulations, les effets de ces dernières présenteront évidemment une multitude de variétés.

Effets des angles rentrants sur les ondes.

Ces effets atteignent une grande intensité dans le cas d'*angles rentrants* formés par les parois où les lames viennent se réfléchir. Bremontier et M. Virla, pour expliquer la hauteur énorme des jets d'eau observés dans ces circonstances particulières, joignent à l'effet de réaction incontestable des parois, l'élasticité d'un réservoir d'air qu'ils supposent enveloppé et comprimé dans les volutes des lames réfléchies, et qui transmet, selon eux, comme un ressort à chaque masse nouvelle d'eau réfléchie le choc instantané que ce volume d'eau aurait reçu; mais cette hypothèse n'est pas indispensable pour expliquer les faits.

Pl 101. Fig. 509.

Lames sourdes.

Bremontier, dans les §§ 9 et 11 de son ouvrage, mentionne des lames *sourdes* qui sont au-dessous des autres ondes superficielles, et qui marchent souvent même dans des directions presque opposées. Ces lames qui ont de grandes ondulations que l'on observe surtout en pleine mer, même par les temps les plus calmes, et qui se font sentir jusque sur les côtes, peuvent être dues à des tremblements de terre, à des soulèvements du fond des mers, à des tempêtes au milieu des hautes mers de l'Océan. Elles ont été considérées comme de grandes ondes progressivement amorties.

Lames de fond.

Quand elles arrivent sur les côtes, elles réagissent de bas en haut si le fond ne leur permet plus de se développer, et gonflent doucement à la surface ou *clapotent* en petites vagues inégales, suivant que le fond s'élevant en pente douce est sablonneux et uni, ou suivant que le même fond est inégal, parsemé de monticules ou de rochers. On conçoit que des lames ordinaires doivent produire des effets semblables, lorsqu'elles sont placées dans les mêmes circonstances.

Les lames de fond diffèrent des *flots de fond* dont M. le colonel Emy a parlé le premier, et sur lesquels il a fondé une théorie complète dans son mémoire sur le mouvement des ondes. Les nombreuses contradictions que cette théorie a soulevées sur l'existence même des flots de fond, dans une controverse encore très-active, déterminent à renvoyer pour cet objet au mémoire ci-dessus, et aux articles insérés par MM. les ingénieurs Duleau et Virla dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, 1835, 1837 et 1838.

Effets des rétrécissements ou des élargissements sur les ondes et les lames.

Si, dans un bassin liquide d'une étendue quelconque, on établit une séparation dirigée perpendiculairement à la marche des ondes ou lames, la première portion de ce bassin, située du côté d'où viennent les lames, sera bien plus agitée dans les zones voisines de la séparation qu'elle ne l'était précédemment; mais par compensation la deuxième portion du bassin en arrière de la séparation le sera beaucoup moins.

Cet effet provient de l'interruption dans la propagation des ondes, et de ce que les ondulations ne peuvent *s'accumuler*.

La différence ci-dessus se manifesterait même si la séparation était submersible. Elle serait encore bien plus tranchée si cette séparation était non-seulement insubmersible, mais surmontée de parois pleines ou à claire-voie qui empêcheraient ou

atténueraient sur la deuxième partie arrière l'action du vent, toutes les fois que cette action aurait été la cause principale des ondes. Pl. 101. Fig. 510.

Si la séparation *hypothétique* était discontinue, chacun des pertuis qu'elle présenterait serait le centre de nouvelles ondulations concentriques dans la deuxième portion arrière du bassin; mais ces ondulations diminueraient d'autant plus vite de hauteur, que l'ouverture serait plus étroite relativement à la zone d'eau arrière qui lui correspondrait. Par compensation aussi, la mer serait bien plus agitée dans les pertuis eux-mêmes et particulièrement à leurs raccordements avec les parois de séparation.

Ce qu'on vient de dire se vérifie sur de simples estacades ou pilotis établis à Ostende, à Yarmouth, à Cronstadt en Finlande, transversalement à la marche des ondes. Au nouvel embarcadère suspendu de la Trinité à New-Haven près Edimbourg, on a remarqué aussi que la violence des vagues était si bien rompue par l'assemblage de 60 pieux qui formaient au large une culée de 18 mètres carrés, que les bâtiments pouvaient accoster en tout sens les escaliers de cette culée et débarquer les passagers.

Enfin, si en arrière des pertuis ci-dessus, se prolongeait dans le sens des ondes principales une sorte de canal qui aurait à peu près la même largeur que le pertuis, les ondes principales du dehors continueraient leur route dans le canal jusqu'à ce que par les frottements du trajet elles fussent complétement amorties. Ce dernier effet serait d'autant plus lent à se manifester, que les rives du canal seraient plus immergées en contre-bas du niveau des eaux, et il y aurait un maximum de retard si ces rives étaient continues et insubmersibles. Pl. 101. Fig. 511.

Lorsque les rives de ce canal, quoique insubmersibles, sont tronçonnées et que latéralement il y ait des zones liquides et des plages douces, l'agitation de la mer dans le canal sera d'autant plus promptement atténuée que les coupures seront plus nombreuses et que ces zones liquides seront plus étendues.

Les principes ci-dessus exposés qui ont déterminé la construction des môles, des jetées et des claires-voies des ports et rades, résultent d'une multitude de faits et d'observations, indépendamment des expériences spéciales faites par Bremontier.

Effets des lames et des vagues sur le fond de la mer et les côtes.

Que l'on considère l'énorme force vive qui résulte de la masse d'eau en mouvement dans les ondulations de la mer; sa vitesse qui dans les tempêtes et dans certains parages a été trouvée de 13 à 20 mètres par seconde; la profondeur à laquelle l'agitation descend alors, et l'on s'expliquera facilement et *sans autres hypothèses*, par la simple comparaison avec les moteurs ordinaires et avec le cours des eaux dans les fleuves, l'action destructive des lames et des vagues dans chaque zone locale sur les corps déposés au fond de la mer et surtout sur les côtes. Ainsi M. Bremontier cite des appareils de pêche composés de 25 à 50 filets, chaque filet ayant 80 mètres de longueur et 2 mètres de hauteur, et étant chargé d'un poids de 7$^{kil.}$,50; ces appareils eux-mêmes étaient retenus par trois blocs pesant ensemble 75 kilog., jetés à la mer à deux et trois lieues de distance de la terre, par 16 et 19 mètres de profondeur, de manière que la partie supérieure fût de 12 à 15 mètres sous l'eau; ces appareils, en

quelques jours de grosse mer, avaient été ballottés, déplacés, roulés, repliés et transportés à plusieurs lieues de l'endroit où on les avait immergés.

Le même auteur, au § 39 de son ouvrage, cite des expériences faites pendant une mer agitée, où la hauteur des plus fortes vagues n'était que de 1 mètre à $1^m,10$, sur des blocs placés au niveau de basse mer au pied d'une jetée inclinée. Deux heures après que la mer avait dépassé ce niveau seulement de $0^m,30$, un bloc de 8 pieds ou $0^{m.c.},27$, pesant environ 600 kil., était enlevé et jeté à la mer.

M. l'ingénieur Virla, calculant l'effort des vagues à Cherbourg, est arrivé à le comparer, *sous le rapport de la pression*, à l'action d'une colonne d'eau de $3^m,60$ multipliée par la surface choquée. Il rélate entre autres une caisse de béton du poids dans l'eau de 13800 kilog., ayant $2^{m.q.},25$ de surface choquée et qui adhérait au sol par une force qu'il a supposée équivalente à $13800 \times 0,58$; cette caisse commençait à glisser sous l'action des lames au large de la digue : elle avait été posée au sommet du plan incliné en enrochement qui s'enfonce en contre-bas du niveau des basses mers de vives eaux.

On a remarqué du reste, à Cherbourg, que les aspérités des enrochements étendus sur une plage inclinée usaient les mouvements des vagues, amortissaient leurs vitesses, diminuaient leur ascension, et que le maximum d'intensité des vagues contre la muraille en maçonnerie en exécution à la digue, correspondait à la hauteur de mi-marée ou du plan moyen, c'est-à-dire à 3 à 4 mètres en contre-bas de la crête de la muraille. Cette dimension est aussi celle de la profondeur ordinaire de l'agitation des ondes dans la rade de Cherbourg.

Nouveau brise-lame de Cette.

Au nouveau brise-lame de Cette, dans la Méditerranée, on a remarqué aussi que le maximum d'action des vagues était de $1^m,50$ au-dessous des basses mers, et qu'il décroissait ensuite jusqu'à 5 mètres plus bas en dehors du brise-lame, et jusqu'à 3 mètres en dedans du côté de l'intérieur : il y a d'ailleurs des courants violents dans la passe du nord-est lorsque les vents soufflent entre le nord-est et le sud.

On reviendra plus bas sur l'action érosive des vagues sur les côtes, combinée avec les effets des eaux pluviales et des gelées. On reproduira seulement ici des chiffres présentés dans le mémoire de feu M. Lamblardie père, sur les côtes de la haute Normandie. La côte au nord du Havre, sur un développement de près de 224000 mètres, perd par an une couche verticale de $0^m,33$ d'épaisseur horizontale. La hauteur des couches de silex, dans les falaises, est de 5 mètres; ce qui produit annuellement 369600 mètres cubes, dont feu M. Lamblardie prenait d'abord les $\frac{2}{5}$ ou 147800 mètres cubes pour avoir la masse de silex pur détaché; puis le tiers du reste pour tenir compte des particules perdues par l'arrondissement des galets. Ainsi la production annuelle de galets serait de 49266 mètres cubes pour 224000 mètres de longueur de côtes, et par hectomètre de 22 mètres cubes.

Des marées.

Les causes et les calculs du phénomène des marées sont développés dans les immortels ouvrages de M. de La Place, la *Mécanique céleste* et l'*Exposition du système du*

*monde;* les résultats sommaires sont reproduits dans l'*Annuaire du bureau des longitudes.*

L'action simultanée de la lune et du soleil sur la masse des eaux continues qui couvrent le bassin d'une partie du globe détermine une intumescence périodique dont la marche et la hauteur dépendent : de la position respective des astres, soit entre eux, soit par rapport aux divers points du globe, et de la masse et de l'étendue superficielle des eaux. Cette intumescence, qui à l'équateur n'a que quelques pieds de hauteur ($0^m,80$ à 1 mètre), n'est qu'une grande *ondulation* partant des régions intertropicales, tournant avec la terre, de la même nature que celles dont il a été parlé plus haut, et qui par transmission arrive dans les deux hémisphères.

M. Whewell, dans un mémoire très-estimé sur les marées et les lignes *cotidales*, inséré aux *Transactions philosophiques de* 1833, et qu'on fera bien de consulter, remarque que la marée n'atteint le port de Brest que 36 heures après l'époque de la plus grande action des astres, et ne parvient à Londres que 2 jours $\frac{2}{3}$ après. Ce dernier retard est probablement le temps nécessaire à l'*ondulation ouest* des marées, pour passer entre l'Irlande et l'Angleterre, contourner l'Ecosse et de là entrer dans la Tamise, en marchant du nord à l'est. Le mouvement de transmission de cette ondulation qui a une vitesse de 10 degrés de latitude par heure dans certaines parties de l'Atlantique, est réduit à celle d'un degré $\frac{1}{2}$ par heure dans la zone, entre la pointe sud de l'Irlande et la pointe nord de l'Écosse. Enfin dans la Manche, canal très-resserré, la vitesse de l'ondulation, en marchant du sud vers le nord, n'est guère que de 40 milles (64000 mètres environ) par heure, ou de 17 à 18 mètres par seconde.

M. de La Place s'exprime ainsi dans l'Exposition du système du monde :

« La grandeur des marées dépend beaucoup des circonstances locales. Les ondulations de la mer resserrées dans un détroit peuvent devenir fort grandes. La réflexion des eaux par les côtes opposées peut les augmenter énormément, surtout dans les angles rentrants d'une même côte. C'est ainsi que les marées, généralement fort petites dans les îles de la mer du Sud, sont considérables dans les ports français de l'Océan. Si l'Océan recouvrait un sphéroïde de révolution, et s'il n'éprouvait dans ses mouvements aucune résistance, l'instant de la pleine mer serait celui du passage de la lune au méridien supérieur ou inférieur; mais il n'en est pas ainsi dans la nature, et les circonstances locales font varier considérablement l'heure des marées dans des ports même voisins. Pour avoir une idée juste de ces variations, imaginons un large canal communiquant avec la mer et s'avançant fort loin dans les terres, il est visible que les ondulations qui ont lieu à son embouchure se propagent successivement dans toute sa longueur; en sorte que la figure de la surface sera formée d'une suite de grandes ondes en mouvement qui se renouvelleront sans cesse, et qui parcourront leur longueur dans l'intervalle d'un demi-jour. Ces ondes produiront, à chaque point du canal, un flux et un reflux qui suivront les lois précédentes; mais les heures de flux retarderont à mesure que les points seront plus éloignés de l'embouchure. »

La dénivellation des eaux dans chaque point est la plus grande possible dans les *syzygies* ou nouvelles et pleines lunes de chaque mois, et particulièrement des équinoxes. Ces marées s'appellent marées de *vive eau*. La dénivellation des eaux est la moindre possible, toutes choses égales d'ailleurs, aux *quadratures* (quartiers lunaires), particulièrement au solstice d'été ; les marées s'appellent alors *marées de morte eau*.

Dans chaque point des côtes ou de la mer, la mer est deux fois haute et deux fois basse en 24 h. 48'. Toutefois on cite quelques localités qui jouissent de deux flux et de deux reflux en 12 heures. Ainsi dans un ouvrage du docteur Inglice, mentionné dans les *Annales maritimes et coloniales de* 1832, on indique pour ce fait le port de Poole, situé à l'embouchure de la rivière de Southampton, en Angleterre, à peu près vis-à-vis le port du Havre. Aussi cet auteur anglais assigne à ce phénomène la même cause qu'à l'*étale* de deux à 3 heures de haute mer qui existe au Havre. Dans des localités où ce phénomène ne se manifeste pas habituellement, il a lieu accidentellement par de fortes tempêtes. Les soulèvements momentanés du globe par des tremblements de terre ou par des causes intérieures peuvent produire également et ces doubles flux et reflux, et les violents *ras de marée* des régions intertropicales.

Les époques de la pleine mer retardent d'un jour à l'autre pour revenir aux mêmes heures aux syzygies.

Bélidor rapporte qu'aux îles de Cuba et de Saint-Domingue, le flux et le reflux ne se manifestent, d'une manière sensible, que tous les quinze jours des pleines et nouvelles lunes, et seulement tous les six mois aux équinoxes dans les golfes du Mexique et sur quelques rivages de la Méditerranée.

L'heure d'établissement de la marée dans un point déterminé des côtes ou de la mer résulte de l'intervalle de temps dont la pleine mer suit le passage de la lune au méridien lors des nouvelles et pleines lunes.

L'Annuaire du bureau des longitudes donne, par des tables, les moyens de calculer l'heure de la pleine mer dans un point quelconque du globe pour lequel on connaît l'heure du passage de la lune au méridien. Dans les villes maritimes, les calendriers locaux indiquent pour chaque jour les heures de pleine et basse mer, en supposant que le retard quotidien soit constant, ce qui n'est pas exact.

Le même annuaire relate les heures de l'établissement dans les principaux ports de l'Océan avec les longitudes au méridien de Paris : déjà Bélidor avait consigné des indications analogues dans le tome IV de son *Architecture hydraulique*. En les rapprochant des cartes maritimes, et en dirigeant l'attention sur les points qui ont des marées contemporaines ou *cotidales*, on reconnaîtra la marche de l'ondulation des marées, et les modifications qu'y apportent les saillies et renfoncements des côtes, et qui sont signalées dans l'extrait ci-dessus de l'ouvrage de M. de La Place.

Marées cotidales.

Pl. 101. Fig. 512.

La carte (figures 512 des planches) représente les marées cotidales à l'entrée de la Manche et du canal Saint-Georges.

Dans chaque point des côtes ou de la mer, si l'on représente graphiquement par des

courbes les ascensions et abaissements de la mer, observés tous les jours et pendant plusieurs années consécutives, et que l'on prenne pour abscisses des courbes les jours des mois lunaires et pour ordonnées les côtes de la mer observées, on remarquera que la forme des courbes se rapproche, *sauf les anomalies dues au vent et aux circonstances atmosphériques*, des ondulations formées par le vent sur une surface d'eau tranquille : on a déjà dit que M. l'ingénieur Virla assigne pour ces dernières la projection d'une hélice sur un plan passant par l'axe d'un cylindre horizontal autour duquel l'hélice sera tracée. Pl. 101. Fig. 304.

Il serait d'une haute importance que dans toutes les villes et ports maritimes à marées, des registres fussent tenus, mois par mois et année par année, et qu'ils continssent les tracés graphiques des ondulations de la marée, afin qu'on pût y coordonner les opérations navales et la marche des travaux à exécuter à la mer. Le zéro des observations devrait être repéré avec le plus de notoriété possible relativement à des objets fixes et d'une longue durée. Les observations devraient être faites avec de bonnes montres, et sur des échelles suivies par des hommes de confiance, ou mieux avec un hydromètre mécanique analogue à celui de Cherbourg, représenté dans les figures 513 des planches. Pl. 101. Fig. 313.

Variations diurnes de la marée.

Les variations diurnes de la marée depuis la basse mer qu'on appelle *ebbe* ou *jusant* jusqu'à la haute mer qu'on appelle *flot*, sauf toujours les anomalies dues aux circonstances atmosphériques, peuvent être également représentées par des courbes dont les abscisses sont les diverses parties des temps, et les ordonnées, les hauteurs successives de la marée observée, comme il a été dit tout à l'heure. Ces courbes, qui sont tangentes haut et bas à des lignes horizontales, correspondent assez bien à des paraboles à *exposant fractionnaire* qui seraient tangentes entre elles à la hauteur de mi-marée. M. de La Place, dans l'*Exposition du système du monde* (t. II, page 71), donne, pour les courbes de dénivellation diurne, la loi exacte $x = \beta \left[ 1 - \text{cosin.} \left( \frac{\pi y}{T} \right) \right]$ où $x$ est la hauteur de la mer qui s'est élevée après le temps $y$, $t$ le temps total de l'ascension de la marée et de sa descente, $\beta$ la demi-amplitude de la dénivellation totale.

Il résulte de ces lois d'ascension et d'abaissement de la marée diurne, une circonstance importante pour la navigation, les opérations navales et pour les travaux *à la marée* ; c'est que les variations de la marée, d'abord insensibles aux approches des basses et hautes mers, croissent rapidement, et sont à leur maximum vers la mi-marée, et décroissent ensuite symétriquement vers leur terme opposé. Il est à remarquer que le temps de l'ascension diffère toujours de celui de la descente, et dans quelques localités même ces deux mouvements sont séparés, comme on l'a déjà dit, par une *étale* ou état stationnaire de la mer, qui se prolonge quelquefois de plus de deux heures, comme à Honfleur, au Havre, à l'embouchure des rivières d'Orne et de Dive, et à un point de la côte française de la Manche, au nord du cap d'Antifer, entre Fécamp et le Havre.

L'explication d'une étale prolongée est complexe. Ce phénomène se manifestant habituellement aux embouchures des rivières et des fleuves, peut provenir de trois causes concourantes : 1° le déversement *dynamique* des eaux de la mer dans le lit des fleuves,

tel qu'il résulte de la forme et de la grandeur de l'orifice de l'embouchure; 2° la transmission de l'ondulation des marées du large; 3° le cours descendant des eaux douces.

L'importance relative de ces causes doit dépendre d'ailleurs d'un si grand nombre de circonstances locales, que l'on ne pourra probablement jamais l'apprécier, même par des comparaisons multipliées dans les divers points où le phénomène en question est permanent. Ce ne sera donc qu'avec la plus grande circonspection et à l'aide de tâtonnements nombreux qu'on devra modifier par des ouvrages d'art l'action de l'une quelconque des trois causes ci-dessus.

Le plan ou *niveau moyen* est le niveau fictif auquel les eaux se tiendraient en chaque point sans l'action du soleil et de la lune. On prend pour unité de hauteur, dans l'Annuaire du bureau des longitudes, la moitié de la hauteur moyenne de la marée totale diurne qui arrive un jour ou deux après la syzygie, lorsque le soleil et la lune, au moment de la syzygie, sont dans l'équateur et dans leurs moyennes distances à la terre. On rappelle d'ailleurs que les plus grandes marées suivent d'un jour et demi environ la nouvelle et la pleine lune.

L'unité de hauteur est donnée dans l'Annuaire du bureau des longitudes pour quelques ports; mais si l'on compulse plusieurs années d'observations, on voit que le plan moyen et l'unité de hauteur éprouvent beaucoup de variations. On peut obtenir du reste cette unité par diverses combinaisons, par exemple, en prenant pour le plan moyen la moyenne de toutes les hautes et basses mers par année ou *par groupes d'années*.

L'Annuaire du bureau des longitudes indique aussi chaque année les coefficients par lesquels il faut multiplier l'unité de hauteur de chaque port pour avoir la hauteur au maximum présumé de la marée dans les syzygies, au-dessus du plan moyen des syzygies, et sa profondeur au-dessous.

Mais l'expérience prouve que les circonstances atmosphériques, et surtout l'action du vent, peuvent, dans certaines localités, augmenter ou diminuer de plus de $0^m,30$ les hauteurs calculées; indépendamment de cette considération, ces hauteurs calculées sont souvent peu d'accord avec celles qu'on observera.

Heures d'établissement des marées, unités de hauteur, et hauteurs du niveau moyen.

Le tableau ci-dessous présente, en même temps que les heures d'établissement, la distance du plan moyen au niveau des plus basses mers observées, c'est-à-dire au zéro des cartes marines pour les principaux ports de France. Ces éléments ont été tirés de l'Annuaire du bureau des longitudes et des observations de M. Daussy, ingénieur hydrographe, insérées aux *Annales maritimes de* 1832, et dans la *Connaissance des temps de* 1837.

Il sera utile également de mettre ces résultats en regard des positions géographiques pour apprécier les influences des configurations des côtes sur les ondulations des marées, et y retrouver sur une grande échelle les effets remarqués dans les ondulations dues à l'action du vent. Ainsi les plus grandes marées s'observent sur les côtes qui présentent une barrière au mouvement de l'ondulation. Cette ondulation présente une courbe convexe vers l'est, lorsqu'elle pénètre par le sud dans la Manche, entre Brest et la partie méridionale de l'Angleterre. Le cap de la Hague, qui termine la presqu'île du

Pl. 101. Fig. 312.

Cotentin, brise l'ondulation et produit la grande dénivellation des marées sur la côte de Granville. Cette dénivellation atteint son maximum au mont Saint-Michel, parce que, dans ce point rentrant, convergent deux côtes inclinées l'une par rapport à l'autre.

Des baies profondes, un bras de mer qui se resserre de plus en plus, des relèvements de fonds, des îles et des rochers qui arrêtent le mouvement de transmission, sont, comme dans les ondulations ordinaires, les causes principales des dénivellations des marées que le tableau ci-après manifestera.

*Observations de M. l'ingénieur hydrographe Daussy.*

| | HEURES d'établissement. | UNITÉ de hauteur. | HAUTEUR du niveau moyen. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| | h. m. | m. | m. | |
| Dunkerque . . . . . . . . . | 11,45 | | | |
| Calais. . . . . . . . . . . | 11,43 | (1) | | (1) Les observations faites dans ces localités ont manifesté des différences sensibles entre les marées de morte et vive eau ; les causes et la loi qui réunit leurs effets ne sont pas encore bien déterminées. On peut supposer que la rencontre, vis-à-vis Calais et Dunkerque, des deux grands courants d'ondulations de marées, venant, l'un du sud par la Manche, l'autre du nord par la mer d'Allemagne, après avoir contourné l'Irlande et l'Écosse, produit ces anomalies. On remarque, du reste, que dans la Manche, les amplitudes de marées vont en augmentant depuis Cherbourg jusqu'à Calais, et en diminuant depuis Calais jusqu'à l'embouchure du Texel ; tandis que sur la rive opposée d'Angleterre, les marées sont très-fortes. |
| Boulogne . . . . . . . . . | 10,40 | | | |
| Saint-Valery-sur-Somme . . . | 10,35 | | | |
| Dieppe . . . . . . . . . . | 11,11 | 4,62 | 1,68 | |
| Fécamp . . . . . . . . . . | 10,43 | 4,03 | 3,95 | |
| Le Havre. . . . . . . . . . | 9,57 | 3,79 | 4,51 | |
| Honfleur. . . . . . . . . . | 9,54 | 3,87 | 3,92 | |
| La Hougue . . . . . . . . . | 8,48 | 3,09 | 5,76 | |
| Barfleur (cap de la Hague). . . | 8,2 à 8,58 | 2,83 à 2,90 | 3,57 à 3,66 | |
| Cherbourg . . . . . . . . . | 8, 2 | 2,79 à 2,97 | 3,57 | |
| Granville . . . . . . . . . | 6,6 à 6,11 | 6,11 | 7,18 | |
| Saint-Malo . . . . . . . . . | 6,5 | 5,67 | 6,64 | |
| Pontrieux . . . . . . . . . | 5,54 | 4,98 | 5,73 | |
| Brehat . . . . . . . . . . | 5,52 | 1,97 | 3,73 | |
| Morlaix . . . . . . . . . . | 5,15 | | | |
| Le Conquet. . . . . . . . . | 3,50 | 3,15 | 4,47 | |
| Brest (port). . . . . . . . | 3,48 | 3,21 | 4,43 | |
| Douarnenez . . . . . . . . | 3,34 | 3,08 | 4,19 | |
| Iles de Sein . . . . . . . . | 3,38 | 2,87 | 4,10 | |
| Penmarck . . . . . . . . . | 3,16 | 2,40 | 3,79 | |
| Benodet . . . . . . . . . . | 3,31 | 2,33 | 2,38 | |
| Entrée de la rivière de Quimper. | 4,2 | 2,41 | 2,62 | |
| Concarneau. . . . . . . . . | 3,25 | 2,34 | 2,62 | |
| Lorient (port) . . . . . . . | 3,40 | 2,31 | 2,61 | |
| Le Palais (à Belle-Ile) . . . . | 3,33 | 2,47 | 2,87 | |
| Port-Navalo, à l'entrée du Morbihan. | 3,56 | 2,36 | 2,60 | |
| Le Croisic . . . . . . . . . | 3,41 | 2,49 | 3,06 | |
| Saint-Nazaire, à l'entrée de la Loire. | 2,50 | 2,64 | 2,78 | |
| Paimbœuf, *id* . . . . . . . | 4,8 | 2,90 | 1,83 | |
| Noirmoutiers . . . . . . . . | 3,17 | 2,79 | 2,97 à 3,08 | |
| Ile d'Yeu. . . . . . . . . . | 3,25 | 2,45 | 2,46 | |
| Saint-Gilles . . . . . . . . | 3,47 | | | |
| Les sables d'Olonnes. . . . . | 3,39 | 2,30 | 2,76 | |
| La Rochelle. . . . . . . . . | 3,39 | 3,43 | 3,44 | |
| Ile d'Aix, à l'entrée de la Charente. | 3,37 | 2,87 | 3,50 | |
| Rochefort, port (intérieur de la Charente) | 3,48 | 2,70 | 2,16 | |
| Marennes . . . . . . . . . | 3,37 | 2,56 | 2,77 | |
| Tour de Cordouan, à l'embouchure de la Gironde. . . . | 3,39 | 2,36 | 2,38 | |
| Royan, dans l'intérieur des terres. | 4,2 | 3,29 | 2,29 | |
| Bordeaux, *id* . . . . . . . | 6,54 | 2,34 à 2,49 | 2,64 à 1,25 | |
| Livourne, *id* . . . . . . . | 7,29 | 2,26 | 2,24 | |
| Arcachon . . . . . . . . . | 4,48 | 1,83 à 1,99 | 1,95 | |
| Soccoa, à l'entrée de la rade de Saint-Jean-de-Luz . . . . . | 3.31 | 2,06 | 2,26 | |

*Nota.* On renvoie aux Mémoires de M. Daussy pour apprécier le degré de confiance qu'on doit accorder aux chiffres précédents, d'après le nombre d'observations faites.

Dans la Méditerranée, les dénivellations de la mer ne sont pas ordinairement de plus de 0m,80. Toutefois dans le golfe de Venise, elles vont jusqu'à 1m,50 à 1m,60.

En comparant du reste les dénivellations de la marée sur les rives d'un détroit resserré et au milieu, on trouve généralement que les premières sont plus fortes que les secondes, ainsi qu'il devait résulter des principes posés par M. de La Place.

Des courants dus aux marées et autres causes.

Les ondulations d'une faible hauteur qui ont lieu dans une masse fluide *libre d'obstacles* ne paraissent pas déterminer de courants appréciables; c'est ce qu'on remarque au moins dans la Méditerranée et dans le golfe de Venise. Les courants existants ne sont point modifiés sensiblement par les ondulations, bien qu'ils puissent, dans l'opinion de Bremontier, diminuer et accélérer la vitesse des ondes. Mais quand les ondulations des marées éprouvent des dérangements, des exhaussements extraordinaires dus aux causes locales indiquées plus haut, l'équilibre des eaux étant détruit, il se développe des courants plus ou moins rapides, qui se font sentir à des distances d'autant plus grandes des rivages que la surface des eaux a été écartée davantage de l'état d'équilibre.

Comme dans la plupart des villes maritimes de l'Océan, les courants ascendants et descendants concordaient avec les heures des marées et *reversaient* en même temps qu'elles, on leur a donné les noms de courants de *flot* et de *jusant*. Mais il résulte d'un grand nombre de faits coordonnés dans un mémoire très-intéressant de M. Mounier, ingénieur hydrographe (*Annales maritimes et coloniales de* 1835), que les courants horizontaux sont assujettis seulement à la même périodicité que les oscillations verticales des marées; mais qu'en règle générale leurs *reversements* sont séparés par un temps plus ou moins long des époques de pleine mer et basse mer, et que leur coïncidence avec ces dernières n'est qu'un cas particulier.

Des reversements des courants de flot et de jusant.

La direction de ces courants peut varier d'ailleurs considérablement pendant la période diurne dans certaines localités. Ainsi, dans les parages entre la côte ouest du Cotentin et les îles de Jersey et de Guernesey, les courants font en douze heures le tour de la circonférence du compas, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Dans quelques cas, leurs directions ne décrivent qu'une partie du circuit; dans d'autres, elles rétrogradent en repassant par les mêmes aires du vent par lesquelles elles avaient passé.

Voici au reste comment MM. Whevell et Mounier expliquent le courant général que les ondulations des marées déterminent dans les détroits, comme le canal de la Manche et celui de Saint-Georges, entre l'Angleterre et l'Irlande (voir page 15 du mémoire de M. Mounier) :

« Ils supposent d'abord un canal *ouvert à ses deux extrémités*, de largeur et de profondeur constantes, où la marée ait par conséquent la même vitesse de transmission, et produise la même hauteur sur les deux rives. Le canal ayant une issue pour sortir, le niveau de la mer s'élève pour un point quelconque par le mouvement des eaux qui viennent d'un côté, de l'ouest par exemple, et s'abaisse par le mouvement en même sens, du côté opposé à l'est. Ainsi la surface de la mer s'élève tant que les eaux

affluentes se meuvent plus rapidement à l'ouest qu'à l'est, et elle cesse de monter quand la vitesse d'écoulement est égale à la vitesse d'affluence des eaux, c'est-à-dire au moment où le sommet de l'ondulation passe par le point donné, et où les deux courants parviennent à leur maximum de vitesse; ainsi, l'heure de la haute mer doit, dans le canal supposé, concorder avec le maximum de vitesse dans le courant de flot. Maintenant, plus la marée s'éloigne, plus les eaux qu'elle a ébranlées tendent à revenir vers l'origine de leur mouvement. Le courant de l'ouest perd donc sa vitesse plus vite que celui de l'est; la surface s'abaisse par cela même, ce qui explique la continuation du courant de flot après l'heure de la haute mer.

« Un raisonnement analogue pouvant s'appliquer au mouvement des eaux lorsqu'elles se dirigent dans le sens opposé, c'est-à-dire au courant du jusant, on concevra de la même manière que ce courant, toujours dans le canal *hypothétique*, doit atteindre sa plus grande vitesse au moment de la basse mer, et continuer dans le même sens en perdant peu à peu de sa vitesse jusqu'à l'époque du reversement. »

Lorsque la marée pénètre dans une baie ou bassin *sans deuxième issue* vers la mer, les eaux affluentes doivent évidemment courir dans le même sens jusqu'à ce qu'elles cessent d'élever leur niveau sur les côtes du bassin; les heures de haute et basse mer coïncident alors avec celles du reversement des courants au lieu de les précéder de trois heures.

Dans un canal qui se rétrécit vers l'une de ses extrémités, les heures de haute et de basse mer doivent être séparées de celles du reversement des courants de flot et de jusant par un intervalle moindre que trois heures; cet intervalle doit être d'autant plus court que le canal se ferme davantage.

Ainsi l'ondulation de la marée qui arrive au Pas-de-Calais par le nord et la mer d'Allemagne, après avoir longé l'Irlande et contourné l'Écosse, revient se rejoindre, près de Calais et de Dunkerque, avec l'ondulation entrée dans la Manche par le sud, entre Brest et la partie méridionale de l'Angleterre. Cette ondulation marchant du nord au sud, de Flessingue vers Calais, présente ce phénomène remarquable qu'à quelques hectomètres de distance des jetées de Flessingue, Ostende, Nieuport et Dunkerque, le reversement des courants ne se fait que de 30 à 45 minutes après l'étale. A Cherbourg, en dehors de la digue, où le courant de flot porte à l'est et le courant de jusant à l'ouest, les reversements de courants se font 1 heure 15 minutes après la mer haute et la basse mer. On peut voir dans le Mémoire de M. Mounier des explications de tous les mouvements des courants pendant une même période diurne dans les parages difficiles de la côte ouest du Cotentin.

Les vitesses des courants périodiques de flot et de jusant sont d'autant plus grandes que la surface des eaux s'écarte davantage de l'état d'équilibre, ou que les dénivellations de la marée ont été plus fortes. L'on sait qu'un cheval au galop ne peut à la basse mer franchir la longueur de la plage de Saint-Michel sans être atteint par la marée ascendante. Sur les parages de la côte ouest du Cotentin, ces vitesses vont jusqu'à 6 nœuds Vitesses des courants de flot et de jusant.

et 8 nœuds par heure (le nœud vaut environ 1852 mètres) (1), ou 3 à 4 mètres par seconde. Dans des ports où l'unité de hauteur est de $2^m,34$, on a remarqué que le maximum de vitesse était de $1^m,50$ par seconde.

Les vitesses des courants, les relations entre les époques de reversement des marées périodiques et les époques des hautes et basses mers sont des circonstances essentielles à observer pour la navigation, les opérations et les travaux dans les ports et sur les côtes, et à joindre aux observations des vents régnants, des vagues, des marées dont on a parlé plus haut.

**Effets des marées sur les fleuves débouchant dans la mer.**

A l'embouchure des rivières et fleuves, ces effets se compliquent de l'épanchement *dynamique* des eaux de la mer vers les vides qui se rencontrent sur ces rives, et *vice versâ* (effet que les Italiens dénomment *invita* ou *appel d'eau*); de la transmission *latérale* des ondulations des marées, enfin du cours descendant des eaux douces du fleuve.

L'on supposera d'abord que le lit d'un fleuve est complétement à sec.

Le fond des rivières débouchant à la mer forme une espèce de *seuil* sur les rives de celle-ci; quand la marée monte et que son niveau a dépassé ce seuil, les eaux s'épanchent par-dessus par tous les points de la section de l'embouchure jusqu'à ce qu'elles soient en équilibre avec celles de la mer. Au fur et à mesure que ces dernières s'élèvent, l'épanchement continue, s'étend dans le lit de la rivière en amont, et il dure jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre le niveau intérieur et extérieur. Comme le volume d'eau déversé par chaque seconde dépend des disposition, grandeur et forme de l'embouchure et de la pente superficielle des eaux qui s'établit vers le fleuve, on voit qu'il pourra souvent arriver que, même à marée baissante, la mer s'épanche encore dans le fleuve, et que *vice versâ* les eaux déversent du fond du fleuve vers la mer, même après que la mer aura commencé à monter.

Ainsi, à l'embouchure de l'Adour qui, au lieu d'être évasée vers la mer, se présente au contraire comme un entonnoir dont le col est tourné vers le large, l'eau des marées ne pouvant s'introduire par cet étroit goulot en assez grande quantité pour remplir le bassin du fleuve, conserve pendant toute la durée du flot un niveau beaucoup plus élevé au dehors qu'au dedans. La différence dans les syzygies a été trouvée de 4 pieds ($1^m,304$) par M. l'ingénieur hydrographe Mounier. Le dénivellement qui se continue quelque temps après la pleine mer, prolonge de plus d'une heure, à l'intérieur de l'Adour, la durée du flot, et retient dans la rivière les navires qui veulent en sortir.

---

(1) La ligne de loch, dont les navires de toutes les nations font usage pour mesurer la vitesse soit des navires, soit du cours des eaux, porte des nœuds de $15^m,43$ en $15^m,43$. Chacun de ces nœuds correspond aux 30 secondes qu'un sablier met à se vider, et par conséquent un nœud correspond à une vitesse de $0^m,514$ par seconde, ou à 1 mille marin, $1851^m,85$ par heure. La vitesse de 1 mètre par seconde correspond à $1^{mille},944$ par heure, ou à $1^{nœud},944$.

Ils n'y peuvent parvenir que par le concours de trois circonstances : bon vent, mer calme et profoudeur d'eau suffisante sur le banc. En Angleterre, on a remarqué des effets analogues à l'embouchure du *Tay* en Écosse, dont l'orifice est aussi rétréci brusquement.

Mais les molécules d'eau qni tendent à déverser vers le fleuve étaient mues avant d'arriver à l'embouchure d'une certaine vitesse dans le sens dn flot ou dn jusant du *courant général de la marée;* leur direction, en s'épanchant dans le fleuve, ne sera donc pas la même que si la marée était sans monvcment de translation, mais bien une résnltante des deux directions et des deux vitesses compposantes. Il doit donc se former, à la surface du courant principal de la marée, une *ligne de partage* aboutissant aux deux extrémités de l'embouchure du fleuve, et qui sera nne espèce d'*axe d'équilibre* entre les forces qni appellent l'eau vers le fleuve et celles qui la sollicitent dans le sens du courant de la marée. Cette ligne, remarquable et visible à l'œil par une nappe d'ean stagnante qui la borde, s'appelle *lime* ou *rondaine*.

Elle ne saurait évidemment être invariable de position et de figure entre ses points extrêmes; ainsi elle n'affectera pas la même forme aux diverses époques de la mer montante dans le courant principal, et *a fortiori*, lorsque cette mer, baissant déjà an large, continuera encore de verser ses eanx dans le fleuve. La figure 514 des planches indiqne la position de cette ligne à l'embouchure de la Seine. Pl. 102. Fig. 514

Si de plus, dans le courant principal de la marée, le reversement du flot et du jusant a lieu à des heures différentes de celles du reversement des marées, il y aura d'autres dispositions et configurations pour la ligne de séparation principale que celles qui auraient eu lieu s'il y avait en coïncidence de ces reversements.

Entre les deux points extrêmes de la ligne en question, le courant secondaire d'appel qui vient remplir le fleuve suit une multitude de directions différentes. Comme dans la plupart des fleuves l'embouchure est en entonnoir évasé vers la mer, le courant secondaire du flot entrera dans le lit du fleuve par une direction du rumb on rose de vent *opposée* à celle dn courant principal des marées dn large.

Il résulte de ce qui précède que l'heure de la pleine mer et de la basse mer doit retarder aussi à mesure qu'on considère des points de plus en plus reculés dans l'amont de ce fleuve, et que le temps pendant lequel la marée ascendante se fait sentir est d'autant plus court qu'on est plus éloigné de l'embouchure, et par conséquent que celui de la marée descendante doit être d'autant plus long.

Actnellement l'on va faire entrer dans la question les eaux douces descendantes du flenve, et supposer qu'on parte du moment de la basse mer.

Dès qne la marée montante aura franchi le seuil du lit du flenve, elle formera comme un barrage, qui fera remonter le niveau des eaux douces. Les eaux de la mer ne déverseront pas dans le fleuve tant que leur niveau ne dépassera pas celui des eanx douces ainsi gonflées; mais bientôt la mer, s'élevant plus rapidemment que les eaux douces, s'épanchera au-dessus d'elles. Les vitesses en sens opposé des eaux douces et salées,

les directions ascendantes des unes de bas en haut, les directions descendantes des autres de haut en bas, le jeu des pesanteurs spécifiques, produiront des zones d'eau stagnante, des tournoiements, des remous, des contre-courants littoraux et *sous-marins*, qui seront d'autant plus prolongés que le volume et la vitesse des eaux douces seront plus considérables, et qui dureront jusqu'à ce que la marée plus puissante imprime un mouvement général de l'embouchure vers l'amont. Mais les croisements de vitesse se reproduiront successivement avec une intensité décroissante dans tous les points du

Pl. 102. Fig. 515. fleuve où la marée se fait sentir. Les figures 515 des planches représentent les courants qui ont été observés au Havre par feu M. Lamblardie père, pendant la marée montante, et qui confirment les principes ci-dessous posés par lui dans le Mémoire manuscrit daté de 1791, et intitulé *Nouvelles considérations sur le port du Havre :*

« La masse des eaux qui entrent à marée montante dans l'embouchure de la Seine, se sépare de celle qui va remplir les autres ports de la Manche dans une ligne de partage, tirée du cap de Barfleur, en allant à peu près vers celui d'Antifer, et de là se jette avec force sur la partie de la côte comprise entre Antifer et le cap de la Hève.

« C'est à partir de ce cap que s'établit un courant rapide qui se porte dans la Seine, en passant entre la terre et le banc d'Anfar, après avoir doublé la jetée du N.-O. du port du Havre.

« 2° Depuis Antifer jusqu'à la Hève, la côte court du N.-N.-E. au S.-S.-O., tandis que l'entrée de la Seine est à très-peu près ouest et est. Ces deux directions font donc un angle aigu d'environ 67°30'. Le courant qui a parcouru la première ne peut suivre brusquement, et pour ainsi dire en rebroussant, la seconde; soumis aux lois physiques de la nature, il est obligé de raccorder, si l'on peut le dire ainsi, ces deux directions par un mouvement curviligne, qu'il ne peut prendre qu'en suivant un circuit proportionné à la masse et à la vitesse des eaux qui entrent dans la baie pour la remplir.

« Le bord concave du courant, qu'on nomme vulgairement *lime*, est aussi la limite des dépôts ou pouliers qui se forment de ce côté.

« 3° En effet, lorsqu'un obstacle quelconque change la direction d'un courant parallèle à la plage, il se forme nécessairement dans l'espace curviligne qu'il laisse vers sa concavité, entre lui et le bord de la plage, un contre-courant nommé *verhole*, lequel rapporte et dépose des alluvions qui exhaussent le fond jusqu'à ce que les dépôts soient en équilibre avec la force de ce contre-courant.

« 4° Si, par la nature de ces dépôts et de ceux que d'autres causes physiques pourraient accumuler dans l'emplacement où s'établit la verhole, tout l'espace curviligne pouvait se combler et s'élever jusqu'au niveau des hautes mers, de *manière que le bord ou la limite de la plage vînt répondre à la limite du courant*, alors il n'y aurait plus de verbole.

« 5° Si la limite de la plage répondait, ainsi qu'on vient de le rapporter, à la limite du courant, et qu'il restât néanmoins, dans l'espace curviligne désigné ci-dessus, un vide à remplir par la marée montante, il n'y aurait plus, à la vérité, de courant de verhole

proprement dit; mais il se détacherait du courant principal un courant secondaire qui remplirait ce vide, qui aurait la même direction et produirait les mêmes effets que le contre-courant de la verhole.

« 6° La différence de ce courant secondaire à celui de la verhole consiste en ce que les eaux de celle-ci viennent continuellement se verser dans le courant principal, tandis que celles du premier s'en éloignent.

« 7° Par conséquent les alluvions qu'entraînent les eaux de la verhole tombent dans le lit du courant principal qui les emporte; et celles que le courant secondaire met en mouvement entrent au contraire dans le vide qu'il remplit.

« 8° Le courant secondaire et celui de la verhole peuvent avoir lieu dans le même endroit; il se confondent jusqu'à l'entrée du vide à remplir. Là ils se séparent, et alors on les distingue aisément par la direction de leur mouvement réciproque que l'on vient d'indiquer.

« 9° La force du courant de la verhole étant toujours moindre que celle du courant principal, les alluvions apportées par le premier dans le lit du second seront entraînées par celui-ci.

« 10° Ainsi, tant que le courant principal aura la même intensité, il entretiendra toujours son lit à la même profondeur, et si cette intensité augmente, le lit sera approfondi.

« 11° Le courant principal, qui va dans une direction, et celui de la verhole, qui en suit parallèlement une autre directement opposée, ne se touchent point immédiatement : ils sont séparés par ce qu'on appelle une *molle-eau*, qui n'a pour ainsi dire point de mouvement. Cette stagnation favorise les dépôts dans cet endroit : aussi le fond est-il plus exhaussé dans la partie correspondante à la bande d'eau stagnante qui forme la limite du courant principal et de la verhole qu'il ne l'est du côté de la terre, dans la partie où s'établit ce contre-courant.

« 12° Tout cap ou pointe saillante qui dérange la direction du courant de la marée montante produit les effets indiqués ci-dessus (2 et 3). Mais lorsque après le changement de la direction, la plage n'aura pas encore acquis la courbure que prend ce courant, tout ouvrage, comme un épi ou une jetée, construit sur le bord de la plage, en allant vers le large, ne changera rien dans la direction du courant principal, tant que la tête de l'ouvrage ne dépassera pas la limite concave de ce courant.

13° « Et réciproquement, lorsqu'une pointe ou un ouvrage saillant, établi sur le bord d'une plage, dérangera la direction naturelle du courant, il en résultera que la tête de l'ouvrage ou l'extrémité de la pointe sera au delà de la limite intérieure du courant, et par conséquent au delà du prolongement possible des plages formées par les alluvions qu'apportent les courants. »

Les retards dans les heures de pleine et basse mer, la moindre durée de la marée montante et la plus grande durée de la marée descendante, seront plus sensibles dans le dernier cas que l'on a considéré ci-dessus, *celui d'eaux douces descendantes*, que dans

le précédent. Les ascensions de la mer, en chaque point, seront aussi beaucoup plus considérables que dans le canal vide d'eaux douces qu'on avait envisagé d'abord.

Il reste à tenir compte de la transmission latérale ou *dérivée* dans le fleuve, des *ondulations de la marée du large*. On sait déjà que les ondulations dont la vitesse peut être en général modifiée par celle des courants, ne modifient pas ces derniers lorsqu'ils *sont préexistants*. Ainsi qu'on l'a déjà dit, Bremontier, au § 21 de son ouvrage, a considéré des lames qui oscillent dans le sens de l'axe d'un pertuis, placé latéralement à un bassin. Il annonce que si, en arrière du pertuis, il y a un canal de même largeur que lui, les ondulations du bassin se transmettront dans le même sens, et suivant des courbes concentriques en plan aux courbes qu'elles ont dans le bassin; mais que si, en arrière du *pertuis*, on supposait un bassin plus large que lui, d'une forme irrégulière, le pertuis deviendrait le centre de nouvelles ondulations concentriques entre elles, bien moins fortes que les ondulations extérieures, et qui diminueraient d'autant plus rapidement que le pertuis serait plus étroit.

Mais ces données s'appliquent-elles complétement aux circonstances ordinaires à l'embouchure des rivières où le pertuis est très-large relativement au bassin en arrière, et où les *oscillations des marées ne sont pas dans le sens de l'axe*?

On peut seulement conjecturer que dans les zones d'un fleuve très-voisines de son embouchure, l'effet latéral de l'ondulation des marées peut concourir avec celui des versements et reversements dynamiques du courant principal de la marée au large, pour modifier le courant secondaire d'appel vers le fleuve, et *vice versâ*.

**Observations faites dans la Seine, la Loire et la Gironde.**

Voici au reste ce que les observations paraissent avoir appris sur les effets de la marée en amont de l'embouchure des trois principaux fleuves de la France qui tombent dans l'Océan : la Seine, la Loire et la Gironde.

La marée, c'est-à-dire la différence entre la basse et haute mer, a été trouvée dans les syzygies de 1826 :

| | |
|---|---|
| Au Havre. . . . . . | 7m,15 |
| A Honfleur . . . . . | 7 ,06 |
| A Quillebœuf . . . . | 3 ,83 |
| A Caudebec . . . . | 1 ,61 |
| A La Bouille . . . . | 0 ,96 |
| A Rouen . . . . . | 0 ,99 |

Des observations ont été faites par MM. les ingénieurs Pattu et Pouettre, à l'occasion des débats soulevés pour le projet du canal maritime de Paris au Havre, et ont été représentées graphiquement par des courbes. Elles semblent établir que dans la même marée, les côtes du plein de la mer forment une courbe ascendante en amont de l'embouchure de la Seine.

Pour la Loire, entre l'embouchure à Saint-Nazaire et Nantes, M. Daussy, ingénieur hydrographe, dans un mémoire inséré aux *Annales maritimes* de 1832, présente comme

suit l'heure d'établissement, l'unité de hauteur et le niveau moyen (c'est-à-dire la hauteur du plan moyen observé à l'*embouchure de la rivière*, au-dessus du niveau des plus basses mers observées en chaque point de la longueur précitée du fleuve) :

| | HEURE d'établissement. | UNITÉ de hauteur en contre-haut du plan moyen. | NIVEAU MOYEN. |
|---|---|---|---|
| | h m. | m. | m. |
| Saint-Nazaire. . . . . . . . . . | 3,50 | 2,61 | 2,78 |
| Paimbœuf. . . . . . . . . . . | 4, 8 | 2,90 | 1,83 |
| Le Mignon. . . . . . . . . . . | 1,36 | 2,58 à 2,70 | 1,47 à 1,37 |
| Le Pèlerin. . . . . . . . . . . | 5,21 | 2,57 | 0,78 |
| Basse-Indre . . . . . . . . . . | 5,41 | 2,21 | 0,42 |
| Nantes . . . . . . . . . . . . | 6,14 | 2,34 à 1,96 | (de—0,08 à +0,05) |

M. Daussy présente aussi, dans le mémoire précité, les différences entre les pleines mers et les basses mers observées *le même jour* à l'embouchure à Saint-Nazaire et aux différentes stations. Il fait ressortir que ces différences sont plus fortes dans les grandes marées que dans les petites, et vont en augmentant dans la même marée depuis l'embouchure jusqu'à Nantes.

On voit, d'après le tableau de M. Daussy, que le niveau de la pleine mer varie dans la longueur du fleuve en raison de la grandeur de la marée; il n'en est plus de même pour celui de la basse mer. Ainsi, à la Basse-Indre et à Nantes, le niveau de la basse mer est presque invariable, alors qu'il varie notablement à Saint-Nazaire.

Dans les lieux où l'élévation de la mer dépend uniquement de la marée, M. Daussy fait observer que la hauteur du niveau moyen au-dessus du zéro des cartes marines (niveau des plus basses mers observées) est toujours plus grande que l'unité de hauteur ou la demi-marée moyenne. Dans la Loire, au contraire, le niveau moyen se rapproche du zéro à mesure qu'on avance dans la rivière, et à Nantes il se trouve à peu près à ce zéro. La mer montante ne doit donc être sensible à Nantes que quand elle est parvenue au milieu de son ascension totale; la première moitié de la montée est ainsi employée à atteindre le niveau des eaux douces à Nantes.

Dans la Gironde, les marées sont plus fortes dans l'intérieur et jusqu'à Bordeaux qu'à Royan près l'embouchure, et qu'à la Tour de Cordouan, qui est à l'embouchure même. Voici, d'après un mémoire de M. l'ingénieur hydrographe Daussy, inséré dans la *Connaissance des temps* de 1837, les heures d'établissement, les unités de hauteur et le niveau moyen des marées, toujours par rapport au zéro des cartes marines ou les plus basses mers observées en chaque point; mais ici M. Daussy a déduit le niveau moyen, d'une part des pleines mers, d'autre part, des basses mers, par une méthode indiquée dans son mémoire :

| | HEURE d'établissement. | UNITÉ de hauteur. | PLAN MOYEN d'après les pleines mers. | PLAN MOYEN déduit des basses mers. |
|---|---|---|---|---|
| | h.m. | m. | m. | m. |
| Cordouan, à l'embouchure de la Gironde. | 3,59 | 2,36 | 2,38 | 2,38 |
| Royan. | 4, 2 | 2,29 | 2,29 | 2,29 |
| Saint-Surin | » | 2,25 | 2,62 | 3,25 |
| Palirus | » | 2,42 | 2,70 | 1,98 |
| Bec-d'Ambès (jonction de la Gironde et de la Dordogne) | » | 2,43 | 2,61 | 1,58 |
| Bordeaux | 6,54 | 2,34 à 2,19 | 2,64 à 2,91 | 1.23 à 1,04 |
| Bourg | » | 2,53 | 2,48 | 1,50 |
| Arques | » | 2,60 | 2,64 | |
| Libourne. | 7,29 | 2,24 | 2,24 | |

M. Daussy a conclu de ses attachements et calculs de marées, que dans la Gironde comme dans la Loire, le niveau des plus basses mers était sensiblement constant pour certaines marées, et que le nombre des marées auquel ce fait s'appliquait était d'autant plus fréquent que l'on s'éloignait davantage de l'embouchure; en sorte que pour déduire, des observations de marées faites à l'embouchure, les cotes pour les divers points du cours du fleuve en amont, il fallait prendre un niveau moyen plus élevé pour les pleines mers que pour les basses mers.

En vérifiant ses observations par des nivellements trigonométriques et autres, M. Daussy a trouvé que le niveau moyen déduit des pleines mers à Bordeaux était de $1^{m},46$ plus élevé que le niveau moyen à Cordouan; et que, par conséquent, dans la même marée de syzygies, les hautes mers étaient, indépendamment de la plus grande unité de hauteur à Bordeaux qu'à Cordouan, plus élevées d'au moins $1^{m},46$ dans le premier de ces points que dans le deuxième en aval.

M. Daussy explique ce fait du surhaussement de la marée parce que le flot de la mer en avançant dans le fleuve arrête l'écoulement des eaux douces et élève leur niveau, au-dessus duquel les eaux de mer viennent ensuite se superposer. Ainsi, ajoute M. Daussy, la marée peut être sensible dans des points plus élevés que le niveau des pleines mers de l'Océan.

Du mascaret. Les rivières de Seine et de Dordogne présentent à une certaine distance de leur embouchure le phénomène d'une ondulation particulière, nommé *mascaret*, *flot*, *barre*, qui annonce l'arrivée de la mer ascendante par deux, trois, quatre flots élevés, courts et rapides, qui barrent toute la largeur du fleuve, remontent son cours et renversent tout ce qu'ils rencontrent, surtout sur les rives et sur les bancs de sable. On peut lire dans l'ouvrage de Bremontier, et mieux encore dans l'article inséré par M. l'ingénieur Virla dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835, des explications plausibles de ces phénomènes.

Pl. 102. Fig. 316.

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE-DEUXIÈME LEÇON.

DES COURANTS AUTRES QUE CEUX DES MARÉES. — DESTRUCTION DES CÔTES. — ALLUVIONS. — ÉTABLISSEMENT DES RADES ET DES PORTS. — DESCRIPTION DES PORTS MILITAIRES FRANÇAIS.

Outre les principaux courants directs de flot et de jusant dus aux ondulations de la marée gênée dans son développement; outre les courants secondaires, remons, contre-courants littoraux, courants sous-marins, qui dérivent des premiers et qui dans chaque localité sont connus des pilotes et hommes de mer, il existe des courants généraux permanents, tels que celui qui règne entre les tropiques de l'orient à l'occident, dont la cause n'est pas encore éclaircie, et qui souvent présentent une température différente de celle de la mer. Courants autres que ceux des marées.

Ainsi, en Europe, il existe un courant qui part du cap Finistère au sud du golfe de Gascogne, baigne les côtes de l'Espagne et du Portugal, et se dirige vers le détroit de Gibraltar pour entrer dans la Méditerranée.

On a remarqué aussi sur la côte de la Biscaye et dans le fond du golfe de Gascogne, un courant littoral marchant de l'ouest à l'est sur la première de ces côtes, et du sud au nord depuis Saint-Jean-de-Luz jusqu'à Bordeaux.

Il est possible que les caps, les baies et les golfes produisent, mais sur une grande échelle, relativement aux grands courants généraux de la masse des eaux des diverses mers, des effets analogues à ceux qu'on observe dans les sinuosités des faibles cours d'eau de l'intérieur des terres.

Dans la Méditerranée, il existe un courant littoral qui est probablement un dérivé des précédents. Il marche toujours de la gauche à la droite en regardant la mer, et, par conséquent, sur les côtes de la Provence et du Languedoc. Il chemine du sud-est vers le nord-ouest. Sa vitesse est très-lente, environ 3 à 4 milles d'Italie, ou 5000 à 6600 mètres par 24 heures (6 à 7 centimètres par seconde). Sa largeur, transversalement aux côtes, est d'environ 3 milles d'Italie, ou d'une lieue de 5000 mètres.

L'on a attribué à ce courant, combiné à celui du Rhône, une action *exclusive* très-grande sur le port de Cette, qui est placé à l'occident. Mais le Rhône, divisé en plusieurs bras à son embouchure et animé alors d'une faible vitesse, ne peut produire de grandes modifications ni dans la mer supposée stagnante, ni dans le courant littoral; les vents régnants doivent en avoir une plus marquée sur ce dernier courant, et surtout sur le développement des vagues. On estime que seuls ils peuvent faire gonfler ou baisser le ni-

veau moyen des eaux de la Méditerranée de 60 à 70 centimètres, suivant qu'ils soufflent du large ou de la côte.

D'après les observations des hydrauliciens italiens, celles de Mercadier (voir les chapitres 6 et 7 du mémoire sur les ensablements), enfin d'après celles de M. de Prony et feu M. Sganzin, quand le *vent souffle dans le sens* où ce courant chemine, le courant littoral détermine dans les renfoncements des côtes des bancs de sable toujours croissants de l'amont vers l'aval de son cours, et sur celle des rives qu'il rencontre la première. Mais si une rivière débouche dans la Méditerranée, son cours et celui du courant littoral se combinent en raison des volumes d'eau et des vitesses respectifs; le banc de sable, mentionné dans le cas précédent, est insignifiant; mais il s'en forme un de plus en plus étendu sur la rive de l'embouchure qui est à l'aval de la jonction de la rivière et du courant littoral. Mercadier en infère que moins la force du courant de la rivière est considérable, plus la position et la grandeur des atterrissements doivent se rapprocher de ce qui a lieu pour la communication entre la mer et les criques et renfoncements littoraux. Mercadier fait observer à ce sujet que le voisinage de l'embouchure des rivières ou de canaux artificiels n'est pas toujours nuisible aux ports des côtes de la Méditerranée, *quand cette embouchure est en aval relativement au courant littoral*, et pourrait être souvent utile quand elle est en amont.

Pl. 102. Fig. 517. Pl. 102. Fig. 518.

Après avoir indiqué les divers phénomènes que présente la mer au large et dans les embouchures des fleuves, il faut arriver à leur influence sur les côtes et sur les ouvrages que les hommes y ont élevés.

**Destruction des côtes, alluvions, atterrissements.**

La cause principale de la destruction des côtes et des ouvrages à la mer est dans l'action des vagues soulevées et poussées par les vents régnants. On a déjà cité plus haut leurs effets désastreux sur les côtes de la haute Normandie et dans la baie de Saint-Jean-de-Luz.

Les diverses actions que les vagues exercent dans les gros temps, sont :

1° L'action oscillante des molécules d'eau *dans les raccordements des colonnes d'eau siphonantes*; elle est en raison directe des dimensions des vagues, et en raison inverse de la profondeur d'eau à laquelle sont situés les corps soumis à cette action.

On sait que les vagues soulèvent les graviers à une profondeur plus grande que les galets, et qu'elles agissent sur les sables à des profondeurs beaucoup plus considérables encore (Bremontier, pages 31 et 32).

Jusqu'à présent on avait pensé que l'action des vagues sur les petites pierres de $\frac{1}{4}$ de pied cube ($0^{mc}$, 007), qui forment le noyau de la digue de Cherbourg, cessait à environ 5 mètres de profondeur en contre-bas du niveau de la mer supposée calme; l'expérience a prouvé que cette action descendait plus bas, et l'on n'a pu encore en déterminer la limite réelle. D'autre part, dans des *zones d'épreuve* de cette même digue, on a constaté que des matériaux de même nature, mais d'un volume beaucoup plus considérable (20 à 25 mètres cubes), ne sont pas déplacés, même lorsqu'ils sont situés dans la zone de maximum d'action.

2° L'action produite par la force du vent sur la partie supérieure des vagues. Elle incline toutes les courbures des ondulations, de manière que l'oscillation des molécules d'eau cesse d'être verticale, et peut choquer les surfaces contre lesquelles elle n'eût exercé sans cela qu'un simple frottement.

On a remarqué dans le golfe de Gascogne que les vagues étaient bien plus élevées et plus dangereuses quand le vent soufflait de terre que quand il était dans le même sens que l'ondulation.

3° La réaction déterminée par la *configuration même* des corps frappés par les vagues sur les directions et efforts de celles-ci. Ainsi des surfaces accores s'élevant plus ou moins au-dessus du niveau de la mer ; des plages très-douces ; des surfaces présentant des combinaisons de zones accores et de zones allongées ; le plus ou moins d'aspérités et de dentelures des surfaces développent dans les vagues des modes d'action nouveaux.

Ainsi des corps et des roches en relief isolées, frappés par les lames, déterminent des tournoiements d'eau tels, que si le fond à l'entour de ces corps ou roches est vaseux ou sablonneux, il est en peu de temps profondément affouillé.

4° L'action des courants permanents et périodiques dont la masse des eaux peut être animée.

5° L'action hydrostatique ordinaire des masses d'eau soulevées dans les vagues, et de celles qui sont projetées en arrière des ouvrages.

6° L'action dynamique de ces mêmes masses d'eau lorsque ayant pénétré dans les interstices mêmes des ouvrages, pendant l'oscillation ascendante des vagues, elles en ressortent pendant l'oscillation descendante.

C'est à ces diverses causes, mais particulièrement aux trois premières, que sont dus l'enlèvement et la suspension dans l'eau des matières lourdes provenant de la destruction des côtes ou de l'approfondissement du lit de la mer. Toutefois l'action des courants n° 4 pourrait seule déterminer quelques-uns des mêmes effets, mais sur une bien moindre échelle, et seulement pour les matières d'un faible volume. On pourra en juger par le tableau présenté dans la vingt-quatrième leçon sur la navigation intérieure, en mettant en regard les vitesses des courants de la mer qui ne dépassent pas ordinairement 2 à 3 mètres par seconde.

Les actions 1, 2, 3 et 4 ci-dessus peuvent être dirigées, du reste, obliquement sur les surfaces des côtes et ouvrages, et alors leur décomposition tendra à déplacer et à rouler longitudinalement tous les corps sur lesquels elles auront de la prise. On a remarqué ces effets dans une foule d'ouvrages et l'on y reviendra tout à l'heure.

Feu M. l'ingénieur Fouques-Duparc avait déduit de diverses expériences faites sur la digue de Cherbourg, que, dans cette localité, relativement à une face verticale, la composante horizontale de toutes les actions des vagues correspondait à 3000 à 4000 kil. par mètre carré de surface.

Toutefois, le mur d'enceinte du Havre, dont les dimensions n'avaient été calculées que

pour l'effort hydrostatique n° 5 ci-dessus, a parfaitement résisté pendant plus de quarante ans à toutes les autres actions des vagues dans cette localité.

Les effets des vagues sur les côtes susceptibles d'érosions ont été observés avec beaucoup de soin sur les côtes de la haute Normandie, par M. Lamblardie père (voir son *Mémoire sur les côtes de la haute Normandie*); et ces observations ont été vérifiées dans une foule d'autres localités, dans la Manche, à Cherbourg, sur les côtes de la Bretagne, sur celles de l'île de Ré, etc. Il en résulte que les côtes de la mer, qu'elles soient formées de roches tendres ou de galets agglomérés, ou de terre forte, présentent toujours dans la *partie supérieure au niveau des hautes mers ordinaires calmes*, une courbe cycloïdale dont la hauteur dépend de celle des vagues, et qui peut aller jusqu'à 4 mètres dans les parties très-agitées. A cette courbe succède en descendant un talus

Pl. 102. Fig. 519. qui lui est tangentiel, et qui se rejoint avec le fond au niveau des plus basses mers, suivant une pente plus ou moins allongée. Cette pente dépend de la nature des couches superficielles et des variations qu'éprouve la force des vagues dans les ascensions et abaissements de la marée. Beaucoup de ces talus ont une pente de 7 pour 1, et elle s'adoucit quelquefois en contre-bas du niveau des basses mers jusqu'à celle de 30 pour 1. Quelquefois aussi, particulièrement lorsque le fond est de la vase, le talus devient presque abrupt au-dessous de ce niveau, parce que l'eau soutient la vase. A Cherbourg, on a trouvé environ 45° pour le talus naturel des matériaux d'enrochements immergés.

Les mêmes formes se manifestent dans les amas de galets et sur les enrochements que la mer a elle-même entassés dans certaines zones des côtes.

Au lac de Genève, auprès de Vevay, le talus du rivage se compose de sable fin, et il est de 10 de base pour 1 de hauteur jusqu'à 2 mètres à 2m,30 au-dessous des plus basses eaux; plus bas il n'est que de 2 de largeur pour 1 de hauteur, c'est-à-dire le talus que prend naturellement le sable dans une eau tranquille.

En plan, les masses de galets ou d'alluvions qui bordent le pied des falaises suivent leurs contours et leurs directions. Mais lorsque le galet amoncelé dans une baie n'a d'autre appui que lui-même ou des alluvions peu résistantes, feu M. Lamblardie père fait remarquer que les vagues rangent alors les galets sur une ligne curviligne, dont la concavité est tournée vers la mer du côté du vent régnant, et diffère peu d'un arc de chaînette. La configuration de la côte entre le cap d'Antifer et le cap *Grisnez* au nord présente à l'effort des vagues un arc concave, dont la courbure au milieu (vis-à-vis le

Pl. 102. Fig. 520. Tréport) est perpendiculaire à la direction des vents régnants du nord-ouest. M. Lamblardie père attribue cette courbure également à l'action des vagues poussées par ces mêmes vents. Il a trouvé dans certaines localités que, pour une ouverture de 600 mètres, il y avait une flèche de 56 mètres ou de $\frac{1}{10}$ environ.

Locomotion des corps immergés, des détritus détachés.

La locomotion des corps immergés, des détritus détachés et en suspension peut être due uniquement aux vagues ou aux courants périodiques et permanents, ou provenir de ces deux causes combinées ou successives dans un ordre quelconque. Feu M. Lamblardie père fait remarquer dans son *Mémoire sur les côtes de la haute Normandie*,

page 36, que quand la direction des vents régnants et des vagues est perpendiculaire à une côte, l'action de corrosion est au maximum, mais qu'il n'y a pas translation le long du rivage; et qu'au contraire, la première action sera nulle quand le vent sera parallèle au rivage. Il en conclut, par la décomposition de l'effort des vagues frottant contre les parois ascendantes des côtes, que le maximum de vitesse du cheminement du galet correspond à un angle de 45° du vent avec la côte. Par conséquent lorsque la côte présente un angle *rentrant* divisé à peu près en parties égales par l'axe des vents régnants, les alluvions, poussées dans deux sens différents, viennent aboutir au fond de l'angle. L'ingénieur italien Zendrini avait déjà fait la même observation dans la Méditerranée. Pl. 102. Fig. 521.

Si, au contraire, cet angle ainsi divisé est saillant dans la mer, les alluvions cheminent en s'éloignant à gauche et à droite du sommet de l'angle. Pl. 102. Fig. 522.

Sur une côte homogène ayant la même inclinaison en *plan* avec les vents régnants, la quantité des matières transportées est donc en chaque point proportionnelle à la distance de ce point à l'extrémité de la côte où le vent règne.

Les observations précédentes ont été complétement confirmées dans les effets des tempêtes sur les enrochements de la digue à Cherbourg, ainsi qu'on pourra s'en assurer en lisant, dans les appendices du deuxième volume, le précis historique relatif à ce grand ouvrage.

Quand les courants périodiques ou permanents sont dans le même sens que les vents régnants, la marche des alluvions est plus rapide; elle peut continuer même quand le calme se rétablit pour les matières les plus fines et les moins denses. Lorsqu'il y a opposition entre les deux efforts ci-dessus, il y a ralentissement et même arrêt temporaire ou permanent dans la locomotion.

Si dans la marche des alluvions, le long d'un rivage, sous la double impulsion des vagues et du courant, ces alluvions rencontrent une baie profonde qui soit à l'abri des vents régnants, le calme qui s'établira déterminera les parties les plus lourdes d'entre elles à se déposer; si, indépendamment de cette circonstance, il y a des contre-courants de *verhole* et autres dans cette baie, il y aura des zones stagnantes où le reste des matières tenues en suspension se déposera, soit temporairement, soit d'une manière permanente.

Qu'au lieu d'une baie, ces alluvions rencontrent une saillie dans la côte, l'expérience, d'accord avec le raisonnement, prouve que, du côté d'où viennent les alluvions, il se formera un dépôt qui remplira en arc concave l'angle rentrant de la saillie avec la côte. Si l'action qui pousse les alluvions est permanente, elle finira par leur faire dépasser la pointe de la saillie, et quand les alluvions l'auront tournée, elles se trouveront à l'abri du vent, et se déposeront en formant ce qu'on appelle un *poulier*: et comme dans les angles formés à droite et à gauche par des saillies sur la côte, il y a des contre-courants et des eaux stagnantes, cette circonstance augmentera encore les dépôts. Pl. 102. Fig. 523.

Le mémoire cité ci-dessus de M. Lamblardie père apprend, au reste, à quel degré de ténuité l'action des vagues et le frottement des galets les uns contre les autres ou contre

le rivage sur lequel ils cheminent, réduisent leur grosseur primitive. A Cette, des blocs de marbre dur que plusieurs bœufs ont peine à traîner de la carrière à la jetée, sont bientôt transformés, par le roulis des flots, en galets de la grosseur du poing.

Les effets simples et permanents de la configuration des côtes sur la marche et le dépôt des alluvions deviennent très-compliqués à l'embouchure des rivières dont les rives forment des angles divers avec les côtes voisines et avec les *directions des vents régnants*. Ici les alternatives de calme et d'agitation, les changements de vents, les reversements périodiques de flot et de jusant, les étales de pleine et basse mer, les tournoiements, les contre-courants superficiels et sous-marins, les alluvions apportées par les crues des eaux douces agissent alternativement ou simultanément et avec des influences variables, et déterminent : tantôt ces barres variables d'emplacements et de formes qu'on remarque à l'entrée de la plupart des fleuves ou rades à orifice resserré ; tantôt ces encombrements extraordinaires de galets qui, dans une tempête de quelques jours, obstruent l'entrée des ports de Dieppe, de Fécamp et du Havre ; ou ces bancs mobiles de sable et de vase qui exposent la navigation à des obstacles imprévus ; enfin ces hauts-fonds permanents qui déplacent le cours des eaux.

Pour donner une idée de l'importance des changements qui ont lieu, il suffira de citer le fait récent d'un banc de sable, de plus de 300000 mètres cubes, qui était situé sur la côte nord-est de l'embouchure de l'Adour, et qui de 1822 à 1837 a été entièrement enlevé par la mer et reporté sur la côte vis-à-vis de laquelle il se trouvait.

C'est encore dans les mémoires imprimés déjà cités de MM. Lamblardie père et fils, dans celui de M. Lamblardie fils sur les ports de Saint-Gilles et des Sables d'Olonne, dans des mémoires de M. l'ingénieur hydrographe Mounier sur le bassin d'Arcachon, sur la barre de Bayonne et la baie de Saint-Jean-de-Luz, insérés aux *Annales maritimes* de 1837, qu'on trouvera l'analyse des principales causes locales de la situation actuelle de plusieurs ports et rades de refuge de l'Océan.

Les dépôts de sables et de vases qu'on remarque dans les ports de Brest, Lorient, Rochefort et à l'embouchure de l'Adour s'expliqueraient de la même manière par la destruction des côtes et les corrosions du fond de la mer, opérées par les vagues sous l'influence des vents régnants. Ainsi, le calme et le ralentissement des courants de flot, lorsqu'ils ont franchi l'entrée des rades, déterminent un premier dépôt de sable et de gravier, qui est suivi de dépôts de sable vasard, puis de vase molle, à mesure que l'eau s'éloigne de cette entrée et que le calme et le ralentissement des courants augmentent.

Si ces rades et ports, malgré l'importation des alluvions et l'insuffisance du curage, ont conservé, sinon leur débouché primitif à basse mer, au moins leur profondeur, cela tient uniquement à l'effet des courants de jusant qui détachent et entraînent chaque jour toutes les alluvions fraîches et molles qui avaient été déposées par le flot dans le courant principal des eaux, et les rejettent dans l'intérieur de la rade ou les livrent à des contre-courants qui vont les déposer sur les rives du chenal à basse mer.

Lorsque, comme dans l'Adour, et par suite de rétrécissements naturels ou artificiels

de l'embouchure, les eaux en amont de cette embouchure, vers l'intérieur, ne sont pas à peu près en équilibre aux diverses époques de la marée, et que, par l'épanchement dynamique des eaux, celles-ci remontent encore la rivière, lorsque au large de l'embouchure elles descendent déjà; et *vice versâ*, lorsqu'elles continuent encore de baisser dans la rivière, lorsque déjà elles montent au large, il existe à l'entrée une opposition entre les courants qui doit déterminer des zones stagnantes et des dépôts, dont les pentes et la configuration dépendent d'ailleurs de la direction des vagues poussées par les vents régnants.

A l'embouchure de la rivière de Tay en Écosse, déjà citée, le rétrécissement brusque de l'orifice fait que, lorsque la mer monte, elle s'engouffre dans le fleuve avec violence. A mesure qu'elle s'élève et que ses eaux s'étendent sur plus d'espace, elle perd de sa vitesse et abandonne le sable vasard qu'elle tenait en suspension, et forme d'immenses bancs même au milieu du thalweg du fleuve.

On voit par ce qui précède et par ce qui a été dit dans la vingt-cinquième leçon sur les digues submersibles, combien il faut mettre de circonspection dans les projets d'ouvrages qui auraient pour objet l'approfondissement ou le calme des eaux, ou la fixité des chenaux à l'embouchure des rivières dans la mer. Ce n'est que par voie d'expérimentation lente, d'essais progressifs, de tâtonnements multipliés qu'on peut dans chaque localité parvenir à découvrir les meilleures dispositions à prendre.

Ainsi le rétrécissement des orifices d'embouchure, s'il est favorable pour diriger les eaux dans un chenal invariable et pour approfondir, par l'accroissement des vitesses, les passes suivies par la navigation, peut avoir aussi pour conséquence une moindre introduction d'eau salée à l'amont de l'embouchure, un écoulement plus lent des crues des rivières et des modifications graves dans le régime des heures d'établissement des hautes marées, et dans celui des reversements des courants de flot et de jusant. Ces modifications à leur tour peuvent accroître les atterrissements ou les déplacer d'une manière nuisible à la navigation.

Les complications des diverses causes agissantes se refusent en effet à ce qu'on puisse prévoir les conséquences probables des variations qu'elles éprouveraient, et à ce qu'on puisse adapter à une localité certains procédés d'art, par cela seul qu'ils auraient réussi sur d'autres points. Aussi, des dragages pour approfondir les passes, des pontons pour faire émerger les navires, des alléges pour diminuer leur chargement dans le passage sur les bancs, enfin des bateaux remorqueurs pour surmonter les courants ou les vents opposés, et pouvoir franchir les bancs au moment de leur maximum d'eau, bien que ce soient des moyens permanents généralement plus coûteux que l'intérêt annuel représentatif de la construction et de l'entretien d'ouvrages d'art, leur sont souvent préférables.

Dans la Méditerranée, les courants de flot et de jusant n'existent pas. Le courant littoral, très-faible, ne peut lutter avec l'effort des vagues et des vents régnants, et tout au plus peut-il charrier les sables fins déjà détachés et *mis en mouvement*. Le soulèvement de ces sables et le transport de la plus grande partie d'entre eux doivent donc **Atterrissements dans la Méditerranée.**

provenir essentiellement des autres causes indiquées précédemment, c'est-à-dire de l'action des vents régnants et des vagues sur le fond et particulièrement sur les côtes. Les ouvrages des anciens hydrauliciens italiens, le mémoire de Mercadier, publié en 1788, intitulé : *Recherches sur les ensablements*, enfin ceux de M. Fazio, dont M. l'ingénieur en chef Lemoyne a donné une analyse dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1837, sont d'accord sur ce point. Mais les plages de la Méditerranée, privées des courants de jusant et de flot, ne trouvent dans les fleuves torrentiels qui s'y rendent qu'une nouvelle cause d'ensablements à l'embouchure de ces fleuves, parce que les troubles en suspension dans leurs eaux se déposent progressivement, et dans l'ordre de leurs pesanteurs spécifiques, au fur et à mesure que, par leur rapprochement du niveau en quelque sorte permanent de la Méditerranée, leur vitesse se ralentit.

Des ingénieurs distingués ont émis l'opinion que, dans la Méditerranée, le meilleur emplacement pour être à l'abri des ensablements serait une anse, où 1° il ne déboucherait aucune rivière ni canal qui *appelât les courants du large;* 2° où il y aurait une assez grande profondeur d'eau pour que le sable et la vase ne pussent être soulevés ou charriés entre les deux caps qui limiteraient l'anse; 3° où l'entrée serait tournée sur les côtes françaises de la Méditerranée, plus vers l'ouest que vers l'est; et en règle générale, au côté opposé au courant littoral, et surtout aux vents régnants.

Dans les localités où les ensablements se portent déjà, il est à peu près reconnu que l'on ne peut s'y opposer; qu'il faudrait se borner à les *cantonner*, pour ainsi dire, dans les zones où ils auraient le moins d'inconvénients et seraient plus faciles à draguer, et à les appeler même dans ces zones, à l'aide de canaux naturels ou artificiels prolongés dans les terres, ainsi qu'on le verra dans la description du port de Cette.

L'importance des atterrissements et ensablements opérés par la mer Méditerranée pourra être appréciée par une seule circonstance : c'est que les ports d'Aiguemortes et de Fréjus, d'où partirent les flottes des croisés du temps de saint Louis, et qui alors étaient sur le bord de la mer, sont maintenant situés dans l'intérieur des terres, et ne restent praticables aux petits navires marchands que par des dragages continuels. Le port d'Ostie, près des bouches du Tibre, fait sous le règne de l'empereur Claude, réparé sous Trajan, est aujourd'hui à plus de 3 milles, ou 4000 mètres, engagé dans l'intérieur des terres.

On terminera cet article en rapportant ici textuellement ce que M. de Prony et feu M. Sganzin disaient sur les causes d'ensablement des lagunes de Venise, dans le rapport déjà mentionné à la vingt-cinquième leçon sur la navigation intérieure :

« Le courant littoral qui suit les bords de l'Adriatique et qui, le long des langunes
Pl. 74. Fig. 351. de Venise, court de la Piave à Brondolo (voir le plan, figures 351 des planches), ou de la gauche à la droite en regardant la mer, entraîne dans son mouvement, après les tempêtes, les sables du rivage. Mais en passant devant les bouches des lagunes, il y rencontre deux fois en 24 heures d'autres courants opérés à la mer descendante par le jusant, lesquels poussent au large l'eau introduite dans les lagunes à la mer montante.

« Ces derniers courants sont, par l'influence du courant littoral, déviés de leurs directions, et vont prendre la sienne à une certaine distance au-dessus de chaque passe. A partir et au-dessus de ce point d'incidence, il se forme entre les lignes de mouvement du jusant et du courant littoral une ligne ou surface sur laquelle les actions *latérales* sont en équilibre, et où le mouvement de translation est ralenti, ce qui favorise la précipitation des sables et matières entraînés par l'eau, et donne naissance à des bancs.

« Chacun de ces bancs doit, d'après la génération que nous venons d'exposer, être enraciné sur la rive *supérieure* ou d'amont par rapport au courant littoral, et il s'étend même tout le long de cette rive jusqu'à la passe, et se termine vis-à-vis la rive inférieure ou d'*aval;* il s'élève ainsi un barrage vis-à-vis la passe. Le canal compris entre ce banc et la rive inférieure est le seul passage praticable aux bâtiments qui le suivent en marchant dans une direction contraire à celle du courant littoral.

« Il est aisé de concevoir que les dimensions et directions des bancs qui masquent les passes dépendent des relations existantes entre la force du courant littoral, les vitesses et les quantités d'eau que le jusant fait sortir des lagunes. Les modifications naturelles ou factices dont ces relations sont susceptibles expliquent les divers changements que les passes des lagunes ont éprouvés.

« Les mêmes effets ont lieu aux embouchures de la Brenta, de l'Adige et du Pô, parce qu'il se trouve à ces embouchures des combinaisons semblables de courants.

« Les Vénitiens, qui attribuaient les atterrissements de leurs lagunes aux rivières qui y débouchaient, en ont détourné et conduit directement à la mer les quatre rivières de la Brenta, le Bachilione, la Piave et le *Sile.* »

*Observations générales.*

Il résulte de tout ce qui précède : 1° qu'une attention vigilante doit se porter sur les effets des courants de marées, sur les corrosions et atterrissements des côtes, rades et ports, enfin sur tous les travaux effectués à la mer, même lorsque leur objet semble y être tout à fait étranger; 2° qu'il y aurait à constater périodiquement et à *inventorier* en quelque sorte la situation de ces côtes, rades et ports, sur tous les points qui intéressent la navigation et la défense des côtes ; et cette attribution semblerait appartenir particulièrement à un corps spécial, comme celui des ingénieurs hydrographes de la marine. Leurs avis devraient être pris au moins dans toutes les enquêtes et études préalables à la rédaction des projets et à l'exécution des ouvrages extérieurs des rades et ports.

*Établissement des rades et des ports.*

Les développements dans lesquels on est entré suffisent pour signaler la grandeur des difficultés qu'on rencontrera dans l'établissement d'une rade et d'un port militaire ou marchand, sur les côtes et à l'embouchure des fleuves.

Considérations générales.

Un port militaire dont l'objet est de porter au large, dans le plus grand nombre de circonstances possible, des forces maritimes destinées à gagner promptement la pleine mer, soit pour protéger des convois, soit pour aller à l'ennemi, ou pour toute autre mission, devrait, sous ce rapport, être établi de préférence sur la partie la plus saillante des côtes, puisque les bâtiments pourraient alors entrer et sortir de tout temps et marcher le long de ces côtes. D'une autre part, pour le facile arrivage des matières premières dans les ports militaires, pour les rapports commerciaux des ports marchands, il serait avantageux cependant que ces ports fussent près d'un fleuve pénétrant dans l'intérieur du pays. Mais à côté de cet avantage est l'inconvénient d'un atterrage obstrué par des basfonds, par les alluvions de toutes natures fixes ou mobiles.

Que si pour éviter ces dernières chances on s'établit sur la côte, il est très-difficile d'y concilier la permanence de la profondeur d'eau nécessaire avec le calme non moins réclamé par les besoins de la navigation. En effet, si l'on choisit une partie saillante des côtes où les alluvions ne soient pas à redouter, l'on est exposé à toute la violence de la mer, et les ouvrages d'art qu'on y construirait avec des dépenses souvent exorbitantes pourraient, en procurant du calme, faire perdre l'avantage de l'absence primitive des alluvions. D'ailleurs, la rade et les établissements du port qui doivent être les plus avancés vers le large, seraient en quelque sorte à conquérir sur la mer, comme à Toulon, à l'aide d'ouvrages d'art d'un développement très-coûteux par leur construction et leur entretien.

Si l'on recherche des baies renfoncées dans les terres à l'abri des vents régnants, on s'expose à des dépôts d'alluvions dont l'enlèvement impose une rente annuelle de dépenses permanentes, à moins qu'on ne se résigne à perdre progressivement tout le capital primitif employé à la création de la rade et du port. Bélidor, dans le tome 4 de l'*Architecture hydraulique*, page 83, dit à ce sujet :

« Le bel emplacement d'une baie ou d'une anse engage à y créer un port : on y élève à grands frais des jetées et des môles pour le mettre à couvert des vents traversiers ou du roulis des vagues, et il arrive qu'insensiblement le port s'encombre. La mer trouvant un séjour plus tranquille que par le passé, y dépose les parties étrangères qu'elle remportait avec elle, avant qu'on eût rompu la violence de la mer par des digues Or, comme il peut se rencontrer des endroits de la côte et même certains fonds vers le large d'où il se détache des matières qui se mêlent aux eaux des tempêtes, il est essentiel d'empêcher les flots de les apporter dans le port, et de former à la longue une barre nuisible à son entrée. »

Le défaut de profondeur habituelle dans certaines localités peut exposer aussi à haute mer les navires à talonner ; et si le fond est dur à la fois, la navigation locale est obligée de ne se servir que de bâtiments dont le système de construction se prête à l'échouage, ou d'établir des bassins pour leur tenue permanente à flot dans les ports à marée.

L'on aura à craindre sur quelques points, soit un fond trop dur sur lequel les ancres mordraient difficilement et déraperaient, soit des roches isolées ou bancs madréporiques

qui useraient les câbles et les couperaient. Sur d'autres points, la mollesse du fond exposerait les navires à chasser sur leurs ancres.

Les valeurs considérables immobilières et mobilières accumulées dans les ports marchands et militaires exigent de plus qu'on ait égard, dans leur établissement, aux considérations défensives; à la sûreté et aux dangers des atterrages extérieurs, et à l'exposition des ports militaires des nations voisines.

Enfin la navigation à la voile réclame que l'entrée et la sortie d'un port soient praticables par les vents régnants le plus grand nombre de jours possible, et pendant la plus grande partie de la marée diurne, dans les ports à marée.

Rarement au reste la création d'une rade ou d'un port a été faite d'un seul jet; presque toujours et partout, des établissements de pêche formés dans des positions plus ou moins heureuses, favorisés par des privilèges commerciaux, sont devenus progressivement des lieux de refuge, puis des lieux d'expédition, et enfin des grands ports marchands et militaires. L'intérêt des populations existantes, des établissements déjà formés, le patronage d'hommes puissants ont été pris en grande considération, et il n'est qu'un bien petit nombre de ports qui seraient projetés aujourd'hui dans l'emplacement où ils ont été construits.

S'il s'agissait toutefois de la création d'un port et d'une rade, il faudrait, au préalable de tous projets, prendre connaissance de toutes les observations hydrographiques antérieures, ou à leur défaut entreprendre des observations spéciales pendant toutes les saisons et dans les divers emplacements présumés; rechercher dans les traditions et dans l'expérience des hommes de mer de toutes classes de chaque localité, tous les renseignements possibles sur les directions et la force des vents régnants, l'agitation des eaux, sur les dénivellations des marées, les époques de leurs reversements, sur les directions, intensité et époques du reversement des courants principaux et secondaires, des contre-courants superficiels et sous-marins au flot et au jusant, et surtout sur les érosions et atterrissements le long du rivage. La nature du fond et celle des côtes donneraient les premières indications sur ce dernier objet. Quant à la surface abritée nécessaire au mouillage des bâtiments de commerce dont le tonnage moyen serait de 800 tonneaux, on peut l'évaluer, y compris les passages nécessaires pour la circulation et les mouvements, à 900 mètres carrés ou 30 mètres en carré pour chacun.

*Rades, ports et arsenaux militaires.*

Les grandes dimensions et tirants d'eau des bâtiments de guerre de premier rang, l'espace considérable qu'ils exigent pour leur tenue sur leurs ancres, pour leurs évolutions et leur appareillage (espace circulaire d'environ 200 mètres de rayon), rétrécissent beaucoup le champ des recherches pour l'emplacement des rades et arsenaux militaires.

Il leur faut d'ailleurs un littoral d'un grand développement : 1° pour les quais d'accostage et pour les opérations d'armement et de désarmement, et celles d'approvisionnement des ports; 2° pour les chantiers, cales et bassins de construction et de radoub; 3° pour l'installation de grands magasins et hangars de dépôts, et celle d'ateliers de toute espèce; 4° pour l'établissement de casernes destinées aux corps organisés dépen-

dants de la marine de l'État; 5° enfin pour le placement des bureaux des fonctionnaires de toute espèce employés dans un arsenal militaire.

Dans les ports de commerce, l'État n'a à s'occuper que de la partie hydraulique de ces établissements, et elle y est, en France surtout, sur une échelle beaucoup plus restreinte que dans les arsenaux militaires, à moins que ces ports, comme ceux de Dunkerque, du Havre, de Saint-Servan et de Bayonne, ne doivent en temps de guerre pouvoir servir temporairement à la marine militaire.

Avant de parler des ouvrages principaux d'un port militaire et marchand, on va présenter une description sommaire des principaux ports militaires et marchands existants en France.

On renvoie d'ailleurs au tableau général de la trente et unième leçon pour les heures d'établissement, les unités de hauteur et cotes du plan moyen au-dessus du zéro des cartes marines.

## *Ports exclusivement militaires.*

### Ports de l'Océan et à marées.

Nouveau port militaire de Cherbourg.

Pl. 102. Fig. 524.

Le port nouveau de Cherbourg, dont la création remonte à Louis XVI, est situé sur le revers de la presqu'île du Cotentin, à l'est du cap de la Hague, qui termine cette langue de terre. Cherbourg est au fond d'une baie peu renfoncée et d'une grande ouverture, qui est une rade foraine. Cette baie est ouverte aux vents régnants du N.-O. au N.-E. venant de la Manche, et dont la violence est quelquefois extrême. Le courant principal du flot entre aujourd'hui par l'ouest de la baie et sort par l'est. Un courant secondaire de verhole, dirigé de l'est vers l'ouest, remplit le fond de la baie et le port actuel du commerce.

Le courant principal de jusant se dirige du S.-E. au N.-E., en sorte que les navires qui veulent sortir de la rade de Cherbourg ou y entrer, le peuvent avec facilité, toutes les fois qu'il n'y a pas gros temps, et en choisissant convenablement l'heure de la marée. Aussi dans les dernières guerres maritimes sous l'Empire, les communications entre Cherbourg et le Havre à l'est, et Granville à l'ouest, n'ont jamais été interrompues, malgré l'active surveillance des croisières anglaises.

Le sol sous-marin de la baie présente des roches recouvertes de sable : et les alluvions de sable forment des bancs d'une assez grande étendue sur les atterrages de la côte de l'est. Le ver marin abonde dans la rade et le port de Cherbourg.

Sur le côté ouest de la baie est le nouvel arsenal maritime en construction dont la délimitation, débattue depuis trente ans par le génie militaire, est à peu près définitivement arrêtée aujourd'hui. Elle renfermera une superficie d'environ 450 mètres de longueur sur autant de largeur.

Pl. 103 Fig. 525.

Il existe en ce moment un avant-port d'environ 230 mètres sur 280 mètres, ouvert à

la mer dans la direction de l'ouest à l'est, par un goulet évasé d'environ 64 mètres de largeur dans la partie la plus étroite, et $100^m,25$ dans la partie la plus large.

Dans un premier projet, dont l'exécution eût probablement donné plus de calme que celui qui a été suivi, l'entrée de l'avant-port était au sud et complétement abritée par la côte. L'avant-port actuel a été creusé sous l'Empire à $9^m,24$ en contre-bas des plus basses eaux, et dans nn fond de schiste granitique. Les bâtiments du premier rang, complétement armés, y peuvent rester à flot, et n'avaient à y redouter que la violence des vagues dans les tempêtes, avant que la branche est de la digue fût exécutée sur environ 800 mètres de longueur. Le travail de creusement s'est fait à l'aide d'un batardeau colossal, dont l'onverture solennelle et la démolition subséquente ont présenté beaucoup de difficultés.

Ce batardeau s'appuyait par ses deux extrémités contre les môles de tête exécutés antérieurement et à l'entrée de l'avant-port. Ces môles eux-mêmes avaient été fondés sur un massif de béton racbetant tonte la hauteur d'ean depnis le niveau des basses mers jusqu'au rocber sous-marin. Le béton avait été conlé dans un caisson non foncé, dont les parois avaient été formées par parties à l'aide de plusieurs sonnettes agissant simultanément.

L'avant-port, qui n'est qu'nne sorte de petite rade ou de lien de stationnement pour les bâtiments de guerre, commnniqne vers le nord par une écluse à doubles portes de flot et d'ebbe avec un premier bassin de flot, récemment achevé par MM. les ingénieurs Fouques-Duparc et Leroux, et anjourd'bui en service. Ce premier bassin a 230 mètres de largeur sur 270 mètres environ de longueur, et est principalement affecté aux opérations d'armement et de désarmement. A l'ouest de ce bassin et de l'avant-port, l'on a projeté sur un axe parallèle un deuxième bassin de flot de 200 mètres de largeur et de 400 de longuenr. Autour des rives de ces diverses enceintes d'eau, sont ou seront établis les cbantiers de construction, ateliers, magasins, etc., etc.

Il n'existe encore à Cberbourg qu'une seule forme sèche de radoub déboncbant dans l'avant-port, mais qui n'est point assez profonde pour admettre à toute bante mer les bâtiments de premier rang tont armés. L'arsenal possède en ce moment six cales de construction permanentes, dont quatre, convertes par des toitures fixes, sont situées sur la même rive de l'avant-port que la forme. Quelques ateliers et bangars ont été élevés; mais la plupart des établissements de ce genre construits à faux frais sont encore disséminés, soit dans un cbantier spécial dit de Cbantereyne, qui sera compris dans la nouvelle enceinte définitive, soit sur une portion des rives est du port de *commerce* nommé le *vieil arsenal*.

Pour diminuer l'agitation de la mer, qui rendait la rade très-dangerense, l'on a commencé, dès le règne de Lonis XVI, à une lieue environ au large du fond de la baie, sur une direction de l'est à l'ouest, brisée en chevron vers le nord, et présentant ainsi nn angle saillant vers la Mancbe, une digue ou môle de 3770 mètres de longueur, encore en construction. Elle doit laisser entre ses deux extrémités et les parties les

plus saillantes des côtes deux passes, l'une à l'est de 800 mètres, l'autre à l'ouest de 2330 mètres de largeur.

Cette digue, que sous Louis XVI on avait voulu former avec de grands cônes isolés, posés base à base, a été sous l'Empire établie sur toute sa longueur en pierres perdues, jusqu'au niveau des basses mers. La branche de l'est s'achève en ce moment sur les projets dressés par feu M. Fouques-Duparc, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées et directeur des travaux maritimes à Cherbourg, en muraille maçonnée continue, insubmersible aux plus hautes mers agitées. Elle a été élevée au-dessus du niveau des hautes mers calmes d'équinoxe, sur 1000 mètres de longueur, par M. l'ingénieur Virla, chargé jusque-là de ce grand et difficile travail.

Une batterie centrale et des forts aux deux extrémités sont projetés pour empêcher au besoin les approches de la digue et le passage au travers des passes, déjà défendues d'ailleurs par le fort Royal et le fort de Querqueville, existants sur les côtes à peu près dans l'alignement de la digue. On trouvera, dans les appendices du deuxième volume, un précis historique sur la digue de Cherbourg rédigé par M. Lamblardie fils, inspecteur général des ponts et chaussées et travaux maritimes.

**Port militaire de Brest.**

Pl. 103. Fig. 526.

La rade de Brest est un vaste bassin parsemé d'îles, et où débouchent les trois rivières de Penfeld, Landerneau et celle de Châteaulin, qui est la tête du canal de Brest à Nantes. Cette rade intérieure, où l'on évalue que 500 bâtiments de guerre peuvent être simultanément à flot et manœuvrer, communique avec une rade foraine extérieure par un goulet d'environ 900 mètres de large, dirigé du N.-E. au S.-O., divisé en deux passes par un large écueil (la roche Maingan), et défendu par des forts et batteries sur les côtes voisines. Les rades foraines de Bertheaume et de Camaret, très-accidentées, ne sont elles-mêmes que le renfoncement extrême dans les terres d'une baie qui est à l'extrémité ouest de la presqu'île de Bretagne. Cette baie a 8 à 9 lieues de profondeur et 12 lieues de largeur, entre l'île d'Ouessant et la chaussée des Saints.

Pl. 103. Fig. 527.

Le port militaire de Brest est placé sur les deux rives de la rivière de Penfeld. Ces rives sont très-sinueuses et très-encaissées au débouché de la rivière dans la rade, lequel a lieu dans la direction du nord-ouest au sud-est. Le développement total du *chenal du port* depuis l'entrée en rade jusqu'à la Villeneuve en amont, est d'environ 4600 mètres sur une largeur moyenne de 110 mètres pour la partie du port comprise entre l'avant-garde et l'arrière-garde, ou dans l'enceinte des murs de la ville. La longueur de développement *intra muros* des *terre-pleins* de la rive droite, dite de Recouvrance, est de 2200 mètres, sur une profondeur moyenne de 60 mètres. La longueur développée *intra muros* des *terre-pleins* de la rive gauche, ou du côté de Brest, est de 2200 mètres, sur une profondeur moyenne de 50 mètres.

Les vents régnants dans ces parages sont ceux compris entre le sud-est et le nord-ouest. Mais, grâce au relief prononcé des côtes, l'agitation de la mer dans la rade et le port n'est pas très-grande; le fond de la rade est formé de roches recouvertes de sable

vasard; les alluvions y deviennent vaseuses et assez abondantes à l'entrée du cheual du port.

Malgré les eaux douces de la rivière de Penfeld, les bois immergés à Brest sont exposés aux ravages du ver marin (dit taret).

Il n'y a point à Brest d'avant-port ni de bassin de flot; la rivière de Penfeld présente naturellement assez de profondeur à basse mer dans son thalweg, pour tenir à flot des bâtiments de premier rang.

Les grands et beaux établissements du port de Brest ne remontent guère qu'à une centaine d'années. L'encaissement rétréci des rives a forcé de s'étendre sur une plus grande longueur et d'effectuer, avant la construction, des excavations de rochers sur 20 à 30 mètres de haut, ou d'étager les bâtiments par gradins au-dessus les uns des autres.

L'arsenal de Brest possède deux formes sèches de visite à toute haute mer pour bâtiments de premier rang armés, une sur chaque rive. De plus, sur la rive droite, dite de Recouvrance, il y a trois formes sèches de radoub et refonte, dont l'une est placée en arrière et dans le même axe que la forme de visite, et dont les deux dernières sont placées également à la suite l'une de l'autre. On a exécuté assez récemment à Brest, sur la même rive de Recouvrance, au lieu dit le Salou, une forme sèche de radoub et refonte pour frégates seulement.

Brest n'a en ce moment que six cales de construction, situées toutes sur la rive droite, et dont une seule est couverte; mais dix nouvelles cales sont en exécution sur la rive gauche, dans l'emplacement d'un ancien jardin au fond du port.

Les magasins d'approvisionnement, de désarmement; les corderies haute et basse; le bagne et la grande caserne dite de Brest, établissements élevés dans le dix-huitième siècle par l'ingénieur *Cloquet de l'Indu;* le nouvel hôpital de Clermont-Tonnerre, projeté et commencé par M. Lamblardie fils, et achevé par M. l'ingénieur en chef Trotté de la Roche; la nouvelle buanderie à vapeur établie dans l'anse Saupin, sous la direction de ce même ingénieur en chef, par M. l'ingénieur Petot; les établissements dépendants du service des subsistances; les grands magasins à poudre élevés en rade sur l'île des Morts, par feu M. Trouille, ingénieur en chef à Brest, forment une masse imposante de constructions, et qui n'est encore surpassée par les constructions analogues d'aucun autre arsenal français ou étranger.

La rade de Lorient est, comme celle de Brest, un bassin abrité, mais d'une petite dimension, divisé par une île en deux passes, et où débouchent sur le même point les rivières du Scorff et du Blavet. Cette dernière, canalisée, se rejoint à Pontivy avec le grand canal de Nantes à Brest. La rade intérieure communique avec une rade foraine extérieure *par un goulet très-étroit*, placé au pied de la citadelle du Port-Louis, et qui est dirigé presque du nord au sud. La rade foraine est très-envasée et ne peut être franchie aux approches du goulet qu'à mi-marée par des bâtiments armés du premier rang; mais elle est abritée contre les vents du sud-est au sud-ouest par l'île de *Groa*, Port militaire de Lorient. Pl. 105. Fig. 528.

située à une lieue et demie du goulet, longue d'une demi-lieue, et qui remplit pour cette rade foraine le but qu'on s'est proposé à Cherbourg par la création d'une digue artificielle. En effet, cette île laisse entre ses deux extrémités et les côtes opposées deux passes à l'ouest et à l'est, rétrécies par de nombreux bants-fonds et écueils.

La rade foraine de Lorient est d'ailleurs dans le renfoncement d'une baie de 2 à 3 lieues de profondeur et de 7 lieues d'ouverture, qui est limitée à l'ouest par la pointe de Penmarch, et à l'est par celle de Quiberon et par Belle-Ile.

Cette position a empêché, dans les dernières guerres maritimes sous l'Empire, que les croisières anglaises n'interceptassent les communications entre Lorient et Nantes. Le même avantage ne pouvait malheureusement s'étendre à l'ouest au delà de l'embouchure de la rivière de Quimper.

Le port militaire est situé, comme celui de Brest, sur les deux rives d'une rivière, celle du Scorff, qui débouche dans la rade, dans la direction du nord-est au sud-ouest, au même confluent que la rivière du Blavet. Il résulte même de cette jonction une pointe de vase qui barrerait le port sans l'action du flot et du jusant, qui remonte à près de 2 lieues dans la vallée du Scorff.

Les vents régnants dans ces parages sont les mêmes qu'à Brest, et ne produisent qu'une faible agitation. Le sol sous-marin de la rade et du port, en sable vasard et en vase ferme, est d'une bonne tenue pour les bâtiments de guerre. Les alluvions sont assez abondantes; elles contiennent du sable pur qui se dépose en amont du goulet; du sable vasard qui forme des lagunes riveraines à la rade et au chenal du port, et de la vase molle qui tapisse les parois de ce dernier.

Malgré les eaux douces de la rivière du Scorff, les bois immergés dans le port de Lorient y sont exposés aux ravages du ver marin (dit taret).

Il n'y a point à Lorient d'avant-port ni de bassin de flot; la profondeur d'eau dans le chenal du port est suffisante pour des vaisseaux de 90 canons en état de *commission* ou d'*armement*. L'on a entrepris récemment sur une grande échelle le curage extraordinaire des passes de la rade; il sera effectué pendant l'été avec les mêmes appareils et moyens qui pendant l'hiver fonctionneront dans le chenal du port.

Le port de Lorient est un grand chantier de construction; son développement total en longueur est d'environ 1400 mètres, et la largeur moyenne des terre-pleins des rives est de 350 mètres. Il renferme une forme sèche de radoub, commencée en 1820 et achevée en 1833; treize cales de vaisseaux, dont une a été couverte de 1817 à 1820, d'après les projets de M. Lamblardie fils; treize cales de bricks et corvettes, et les localités permettraient d'établir encore douze nouvelles cales. Outre les magasins, construits de 1720 à 1760 par les ingénieurs Saint-Pierre et Guillois pour la Compagnie des Indes occidentales, fondatrice du port de Lorient, cet arsenal présente depuis peu d'années un grand ensemble de nouveaux ateliers de diverses dénominations pour le service des constructions navales, desservis par des machines à feu et munis de nouveaux moyens de fabrication.

Pl. 103. Fig. 529.

On avait projeté avant 1816 de barrer la rivière du Scorff en amont du port militaire par un pont éclusé qui devait empêcher la marée de remonter dans la vallée. L'exécution de ce projet aurait diminué énormément le volume des eaux de la mer appelées dans le Scorff et la vitesse des eaux du jusant, et eût causé ainsi en peu d'années l'envasement du port militaire. Par suite des représentations faites par M. Lamblardie fils, alors directeur des travaux maritimes à Lorient, ce projet a été heureusement abandonné, et le flot a conservé, à la rencontre avec la route royale, un goulet de 80 mètres de largeur, traversé par un pont en charpente, et qui le sera ultérieurement par un pont suspendu. Néanmoins, le simple rétrécissement du débouché du Scorff par les premiers remblais effectués a de beaucoup augmenté l'étendue des alluvions en aval vers le port militaire.

Le port militaire de Rochefort est situé dans l'intérieur des terres, sur la rive gauche de la rivière de la Charente, qui, à quatre lieues plus bas, débouche dans les rades de l'île d'Aix et des Basques, et dans la direction de l'est à l'ouest. **Port militaire de Rochefort.** Pl. 103. Fig. 330.

Ces rades, dans lesquelles stationnent les bâtiments en appareillage et ceux qui reviennent de la mer, sont abritées par les îles de Ré et d'Oleron, et communiquent avec la pleine mer par deux passes d'environ 6 à 7 lieues de large, dirigées également est et ouest, comprises entre ces îles et la côte et nommées, l'une le pertuis d'Antioche, et l'autre le pertuis Breton. Il y en a une troisième, celle dite de Monmusson, entre l'île d'Oleron et l'embouchure de la Seudre sur le côte, mais qui est rarement pratiquée par les vaisseaux.

L'ensemble des deux îles, des passes, des rades, forme une grande baie d'environ 6 à 7 lieues de profondeur, au fond de laquelle débouche la rivière de la Charente.

Les vents régnants dans ces parages sont ceux compris entre le sud et le nord-ouest par l'ouest ; l'agitation de la mer dans les rades de l'île d'Aix et des Basques n'est pas considérable. Le fond est un sable vasard et de bonne tenue.

Les alluvions en vase molle sont très-abondantes dans le cours de la Charente et dans le chenal du port militaire. Toutefois ce dernier, dans son état actuel, peut tenir à flot, même pendant les plus basses mers, des vaisseaux de premier rang. Aussi le port de Rochefort n'a point d'avant-port ni de bassin de flot.

Cet arsenal, fondé par Louis XIV dans un pays fertile, abondant en vivres et liquides pour l'approvisionnement des bâtiments de guerre, offre, par les rades de l'île d'Aix et des Basques et le cours de la rivière, de grandes ressources pour la concentration, l'armement et le stationnement de grandes forces navales. Malheureusement l'insalubrité de l'air, surtout dans les jours caniculaires, quoique bien atténuée par des travaux de dessèchement toujours en activité, est encore très-pernicieuse. De plus, la nature molle du terrain, dans presque toute l'étendue du port, rend tous les ouvrages de fondation très-dispendieux et compromet la stabilité de la plupart des constructions. Si les bois immergés y sont à l'abri du ver marin par la grande abondance d'eaux douces, les bois non immergés y sont exposés aux ravages d'une espèce particulière de

vers nommés *termites*, qui corrodent longitudinalement en tuyaux creux l'intérieur des pièces.

Pl. 103. Fig. 531. L'arsenal de Rochefort, qui occupe une longueur d'environ 2200 mètres sur une largeur moyenne de terre-pleins de 320 mètres, possède en ce moment trois anciennes formes sèches dont deux, placées à la suite l'une de l'autre dans le même axe, sont abritées par des convertures fixes. Ces formes manquent de profondeur et de largeur pour les visites des bâtiments armés de premier rang; deux d'entre elles ne pourraient admettre que des vaisseaux de 4e rang (74), et la troisième n'est praticable que par les corvettes et les bricks.

Le nombre des cales pour vaisseaux et frégates y a été porté jusqu'à treize et pourrait encore être augmenté. Trois de ces cales sont abritées sous des toitures supportées par des fermes verticales en bois équidistantes sur chaque rive de la couverture.

Rochefort présente en outre un ensemble très-étendu d'établissements, parmi lesquels on distingue les anciennes fosses d'immersion pour les bois, les nouvelles, exécutées par MM. les ingénieurs Matthieu et Lemoyne, les ateliers et magasins des subsistances, les nouvelles halles de travail pour les chantiers de construction des bâtiments de guerre, enfin un hôpital très-étendu.

*Nota*. Lorient et Rochefort se trouvent d'ailleurs l'un près de l'entrée nord et l'autre au fond de ce vaste golfe de Gascogne de 126 lieues d'ouverture et 90 lieues de profondeur, qui est limitée d'une part à l'extrémité de la presqu'île de Bretagne, et de l'autre au cap Finistère en Galice.

*Ports militaires sans marées dans la Méditerranée.*

Port de Toulon. Le port militaire de Toulon est le seul que la France possédait dans la Méditerranée avant la conquête d'Alger; par des circonstances politiques, il est devenu l'arsenal le plus important de la marine militaire. Il est question en ce moment de jeter à Port-Vendres, dans le Roussillon, les bases d'un nouvel établissement militaire.

Pl. 103. Fig. 532. L'arsenal de Toulon est situé au fond d'une rade abritée, d'environ 2 lieues et demie de profondeur et de 1 lieue et demie d'ouverture, dont la bouche est dirigée du N.-O. au S.-E. Cette rade n'est que le renfoncement d'une baie ou rade foraine plus grande, comprise entre le cap Cizée à l'ouest et celui d'*Escampo-Barriau* à l'est. Enfin cette dernière baie est elle-même près de l'entrée et à l'est du grand golfe de Lyon. A l'est, en s'avançant vers le comté de Nice, l'on rencontre les célèbres îles d'Hyères, qui forment aussi une rade foraine pour le stationnement des escadres.

Pl. 103. Fig. 533. L'emplacement du port a été en partie conquis sur la mer par des môles de 20 mètres de largeur au minimum dans le couronnement, dont le contour enveloppe deux bassins naturels en quadrilatère, nommés l'un la *Darse vieille*, d'environ 511 mètres de longueur sur 320 mètres de largeur et formé par Henri IV; l'autre, la *Darse neuve*,

d'environ 500 mètres de longueur sur 400 mètres de largeur, formé par Louis XIV. Ces deux darses, à l'est l'une par rapport à l'autre, sont séparées par un môle de refend, au travers duquel existe une passe d'environ 30 mètres de largeur, couverte par un pont mobile. Chacune de ces darses communique d'ailleurs directement avec la rade par une passe de 30 mètres environ, dans les môles faisant front à la mer du large.

Les rives des darses vers la terre et leurs môles de ceinture portent les nombreux ateliers et établissements civils de l'arsenal de Toulon. Toutefois la rive de la vieille darse, vers la ville, est occupée par le port marchand.

La trop faible superficie des terre-pleins disponibles a fait créer depuis vingt ans des annexes extérieures à l'*arsenal* de Toulon : l'une, située sur la rive ouest de la rade, dite de Castineau, comprend un vaste hôpital de réserve nommé Saint-Mandrier, dont la construction a été consolidée par M. Bernard, ingénieur en chef, aujourd'hui directeur des travaux maritimes à Toulon. L'autre annexe, dite le Mourillon, de 1800 mètres environ de développement sur 230 mètres de largeur moyenne, se trouve sur la rive est, à moins d'un quart de lieue de la vieille darse, et contient un grand chantier de construction.

Les vents régnants dans les parages de Toulon sont les vents chauds de la mer, compris entre le sud-est et l'ouest, et particulièrement le sud-est, qu'on appelle le *sirocco* ou *levante;* les vents de terre, qui viennent des Alpes, compris entre le nord et l'est, et entre autres le *mistral* ou vent du nord-est.

L'agitation de la mer est peu considérable dans la rade de Toulon, et le fond, en *safre* assez dur, recouvert de sable vasard, est d'une bonne tenue pour les bâtiments. Les alluvions ne sont pas très-abondantes et ne consistent qu'en vase sablonneuse.

Il n'y a point d'avant-port à Toulon; la position du port dans une mer calme non sujette aux marées le dispense d'ailleurs de bassins à flot éclusés. La profondeur d'eau dans les deux darses est suffisante pour des bâtiments de guerre de premier rang complétement armés.

L'arsenal de Toulon n'avait qu'une seule forme sèche, dont l'établissement est dû au célèbre Grogniard, ingénieur des constructions navales, et a été l'application en grand du système de construction par caissons. M. l'ingénieur en chef Bernard, déjà mentionné, a fait les projets et suivis l'exécution, d'après un nouveau système proposé par feu M. Sganzin, de deux nouvelles formes sèches placées latéralement à la suite de la première. L'une d'elles est presque achevée en ce moment.

Toulon ne compte dans les darses vieilles et neuves que six cales pour vaisseaux et frégates, dont deux couvertes récemment. On a entrepris au Mourillon l'établissement de dix à quinze autres nouvelles cales, qui seront groupées cinq par cinq sous des toitures fixes accolées. Le port de Toulon a reçu d'ailleurs depuis une trentaine d'années plusieurs nouveaux établissements, tels que ceux du magasin général, des nouveaux ateliers de constructions navales, etc.

*Nota.* On trouvera des détails d'un haut intérêt sur les établissements de la marine

militaire de France dans le rapport sur le matériel de la marine de M. le baron Tupiuier, député, couseiller d'État et directeur des ports au ministère de la marine. Ce rapport a été imprimé eu 1838.

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE-TROISIEME LEÇON.

### DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PORTS DE COMMERCE FRANÇAIS.

*Ports sur l'Océan sujets aux marées.*

On ne fera aucune mention des ports de commerce reculés à l'amont de l'embouchure vers l'intérieur des rivières, tels que ceux de Gravelines, de Saint-Valery-sur-Somme, de Rouen, de Caen, de Paimpol et Lannion, de Saint-Brieue, Tréguier, Morlaix, Landerneau, Pont-l'Abbé, Quimper, Quimperlé, Hennebon, Auray, Vanues, Paimbœuf, Nantes, Libourne, Bordeaux, Bayonne, attendu qu'ils ont ou peuvent avoir en commun : 1° avec les traversées des rivières dans les villes, les quais, plans inclinés, cales, escaliers et débarcadères ; 2° avec les ports situés sur les côtes, des docks ou bassins de flot éclusés, des grils de carénage, des formes sèches, et qu'ils n'exigent pas, comme les ports littoraux, des ouvrages de garantie contre les effets des vagues.

Pour cette description, on s'est servi avec fruit des documents soumis aux chambres législatives dans les sessions de 1835 à 1839, et publiés dans le Moniteur général, et de la nouvelle statistique des ports de commerce dressée en 1839 par l'administration des ponts et chaussées.

Port de Dunkerque. Ce port, le plus septentrional de la Manche, complété par le célèbre Vauban, dont l'état primitif est décrit dans l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, est reculé dans l'intérieur de la ville de Duukerque. Là il communique, par uu arrière-port d'euviron 300 mètres de long et 70 mètres de large, avec différents canaux de navigation intérieure.

Pl. 104. Fig. 334.? Parallèlement à cet arrière-port de même longueur que lui, mais avec 100 mètres de largeur, est un grand bassiu de flot éclusé appartenant à la marine militaire, et bordé d'établissements de réserve dépendants de ce service. L'écluse de ce bassin a été élargie pour le passage de grands bateaux à vapeur, et munie de portes busquées analogues à celles de l'arrière-bassiu du port militaire de Cherbourg. En aval de cet arrière-port et bassin de flot, se trouvent à la suite l'un de l'autre le port d'échouage et l'avaut-port, ayant ensemble environ 500 mètres de longueur sur 110 mètres de largeur. La surface totale d'eau *utilisable* est de $7^{hect.}$,24, et peut recevoir 300 navires de toute graudeur.

Leur axe longitudinal est fortement brisé, et se raccorde en pan coupé vers l'aval, par

un tournant presque à angle droit, avec un chenal rectiligne de communication avec la mer, lequel a plus de 1500 mètres de longueur, et est dirigé du nord-ouest au sud-est Ce chenal, d'une largeur moyenne de 50 mètres, est bordé par deux jetées de même longueur, légèrement divergentes de l'amont vers l'aval.

Sur la rive gauche de ce chenal, en regardant la mer, à peu près à 700 mètres en amont de la tête de la jetée de l'ouest, on a établi de 1825 à 1828 une vaste retenue d'eau éclusée pour les chasses, demi-circulaire, avec entrée à entonnoir, de plus de 700 mètres de longueur, d'environ $30^{hect.}$,50 de surface, dont l'axe, dirigé de l'amont à l'aval, fait un angle d'environ 126° avec celui du chenal d'entrée du port. Les chasses de cette retenue ont pour but d'entraîner au large les alluvions vaseuses très-abondantes dans le chenal d'entrée; sur la rive droite du même chenal, et presque vis-à-vis le débouché des chasses de la rive opposée, ce chenal s'embranche avec un canal ou fossé dit *la cunette*, dirigé aussi, par rapport au chenal, de l'aval à l'amont, sous un angle de 130°, et susceptible aussi de donner des chasses à marée baissante.

Enfin la retenue d'eau du bassin du flot et celle des canaux de navigation débouchant dans l'arrière-port peuvent aussi, de temps à autre, être employées à nettoyer le port et l'avant-port.

Dunkerque est situé à l'entrée de la mer d'Allemagne ou du Nord, mais dans la partie des côtes françaises qui, ainsi que leurs correspondantes d'Angleterre, divergent vers le nord. Par cette position, par les nombreux établissements dépendants de la marine militaire, et entre autres le bassin de flot qui a été dévasé de manière à admettre des frégates de guerre, par la puissance des chasses de retenue d'eau, le port de Dunkerque est appelé à un rôle important en cas de guerre maritime avec l'Angleterre ou avec les puissances du Nord. Pl. 104. Fig. 35.

Les vents régnants sont du nord-ouest à l'est; mais particulièrement les premiers déterminent une agitation considérable; et, comme on l'a dit, les alluvions sont très-abondantes, vaseuses dans le port et sablonneuses en dehors du chenal, où elles forment des hauts-fonds aux atterrages.

Les jetées actuelles du chenal sont insubmersibles, massives et continues, formées de digues en terre revêtues de perrés, ou de coffrages en bois remplis de pierrailles. Toutefois, 585 mètres à l'origine de la jetée de l'est, près l'écluse de la Cunette, sont en estacade à claire-voie protégée sur 365 mètres par un terre-plein.

Malheureusement la plage sablonneuse en pente douce aux atterrages de Dunkerque s'allonge de plus en plus vers la mer, et la laisse des basses mers de vive eau est aujourd'hui à plus de 330 mètres au large des jetées. Les chasses n'ont pu maintenir à cette tête que 50 centimètres d'eau à basse mer, et ne produisent plus d'effet à 200 mètres au large; en sorte que des bâtiments de $3^m$,30 à $3^m$,60 de tirant d'eau peuvent seuls entrer dans les circonstances ordinaires, et que ceux de $4^m$,60 ne peuvent franchir les passes que dans les fortes vives eaux.

On s'occupe en ce moment de prolonger les deux jetées au large d'environ 200 mètres,

jusqu'à une fosse *sous-marine* d'une profondeur presque indéfinie. L'on conserverait au chenal sa largeur et sa direction actuelles, et l'on donnerait à la jetée de l'ouest quelques mètres de saillie sur celle de l'est vers le large, pour faciliter les mouvements des navires entrants et sortants.

Il est présumable que ces jetées seront à claire-voie et garnies, à leur base, d'une risberme en tunages.

L'on doit aussi établir un bassin de flot spécial pour le commerce plus près du chenal, attendu que les bâtiments ne peuvent, dans une seule marée haute, entrer dans le port de Dunkerque et atteindre le bassin à flot prêté par la marine, et qui est trop reculé dans l'intérieur de la ville.

Dunkerque possède un gril de carénage et de radoub et quelques chantiers de construction à droite au fond du port.

Port de Calais. Calais est situé à peu près au point le plus étroit de la Manche, où les courants de flot de la marée qui entre par le sud dans la Manche viennent se rejoindre avec les courants de flot qui, après avoir contourné l'Irlande et l'Ecosse, arrivent de la mer d'Allemagne par le nord. (Pl. 104. Fig. 536.)

L'entrée de Calais est facile par tous les vents, et en fait un port de relâche précieux dans ces parages, qui sont fort dangereux pour la navigation.

Le port est situé sur la rive droite d'une crique. Il est en amont d'un coude, presque à angle droit, que cette crique fait pour se raccorder avec la passe d'entrée. Ce coude forme une sorte d'avant-port. Le chenal aboutissant à la mer est dirigé du nord-ouest au sud-est sur 1300 mètres de longueur. Il est bordé comme celui de Dunkerque par deux jetées insubmersibles continues et massives (sauf 160 mètres à claire-voie à l'extrémité de la jetée de l'est), qui laissent entre elles un débouché d'environ 90 mètres de large en aval du coude, et d'environ 110 mètres vers le large. (Pl. 104. Fig. 537.)

La rive gauche du port est formée d'une dune de sable à peu près insubmersible. La longueur des deux rives est moyennement de 1000 mètres, sur une largeur moyenne de 180 mètres. Calais ne possède aujourd'hui qu'un bassin non éclusé avec gril de carénage, dit le Paradis, d'environ 150 mètres sur 60 mètres, dont l'entrée est placée sur la rive droite, et presque à l'origine amont du coude de raccordement déjà cité.

Les vents régnants sont les mêmes à Calais qu'à Dunkerque et d'une grande violence. Les alluvions, de même nature en dedans qu'au dehors du port, sont sablonneuses et très-abondantes. En facilitant les exhaussements de terrains par voie de desséchement, elles ont réduit aussi avec la largeur la masse d'eau qui entrait au flot et formait *chasses* au jusant. Elles ont ainsi diminué en 300 ans la profondeur d'eau de telle manière que dans les vives eaux ordinaires, des bâtiments de 300 tonneaux abordent avec difficulté sur des points où autrefois il y avait de l'eau pour des bâtiments de 1000 tonneaux.

Il est question en ce moment, pour améliorer l'état de ce port et satisfaire aux besoins pressants de la navigation marchande, et surtout des communications par bateaux à vapeur avec l'Angleterre :

1° De prolonger les jetées actuelles insubmersibles d'environ 260 mètres, jusqu'à la laisse des basses mers de vive eau, en leur laissant à peu près la même saillie vers le large. Ces prolongements seront formés de parties submersibles en fascinages atteignant le plan moyen des mi-marées et surmontées d'estacades à claire-voie et de chemins de halage.

2° De transformer la zone nord et le fond de l'arrière-port en bassin de retenue, qui pût aussi servir extraordinairement de bassin de flot. Ce bassin, capable de lancer un million de mètres cubes d'eau par marée, s'allongerait en canal à goulet sur la rive gauche du port, pour aboutir à une écluse avec pertuis servant de chasse et de navigation.

Cette écluse déboucherait à l'entrée amont du chenal et en aval du coude de raccordement déjà mentionné précédemment. Elle aurait trois passages ; celui de 10 mètres au milieu donnerait accès aux bâtiments, et en même temps fonctionnerait pour les chasses ; les deux autres, latéraux, de 4 mètres de largeur, ne serviraient qu'aux chasses. Le premier serait défendu par un système de portes d'ebbe et de flot ; les deux autres n'auraient que des vantaux de chasses et deux portes *simples* qui y suppléeraient en cas de besoin.

3° L'intervalle qui resterait entre ce goulet et les quais de la rive droite du port actuel serait divisé en deux portions. Celle d'amont, qui se trouverait ainsi en aval de la partie postérieure du nouveau bassin de retenue, et sous les murs de la citadelle de Calais, serait un bassin de flot éclusé de 250 mètres de longueur sur 75 mètres de largeur ; celle d'aval resterait port et avant-port d'échouage. L'écluse du bassin aurait d'ailleurs $16^{m},50$ de largeur pour l'entrée des plus forts bateaux à vapeur actuels.

4° Le nouveau bassin de retenue serait mis en rapport avec le fond du port d'échouage par des aqueducs qui auraient pour objet d'opérer des chasses dans le port et l'avant-port, et en même temps d'y verser, un peu avant le moment des grandes chasses dans le chenal, une nappe d'eau suffisante pour empêcher le *remous* de ces grandes chasses vers l'intérieur de l'avant-port et du port.

Le port de Boulogne est situé, par rapport à la mer, sur la rive sud du cap Gris-Nez. **Port de Boulogne.** Il a dû l'importance de ses ouvrages maritimes au projet de descente en Angleterre, en 1805. Ce port est placé sur la rivière de Liane, à son débouché à la mer. L'on a **Pl. 104. Fig. 538.** transformé cette rivière en bassin de retenue pour les chasses. La surface de la retenue est de $60^{hect.},30$ ; elle peut fournir 220000 mètres cubes d'eau dans la première heure. **Pl. 104. Fig. 539.** En aval du bassin, et dans le même axe que lui, se présentent d'abord l'arrière-port de 150 mètres en carré, puis un avant-port de plus de 600 mètres de longueur sur 130 mètres de largeur moyenne. Sur la rive gauche de ce dernier, a été creusé un bassin de refuge non éclusé, demi-circulaire, de près de 200 mètres de rayon.

L'avant-port, vers l'aval, se raccorde par un alignement brisé avec une passe d'environ 80 mètres de débouché, dirigée précédemment du nord-ouest au sud-est.

Boulogne ne possède du reste qu'un gril de carénage et une cale de construction.

Les deux jetées primitives insubmersibles n'avaient qu'environ 200 mètres de longueur ; mais à la suite de la jetée de droite ou de l'est s'étendait une jetée basse submersible en petits fascinages, d'environ 1200 mètres de longueur.

Cet état de choses a été changé, avec le plus grand succès, en 1835. La passe a été infléchie plus vers la direction S.-E., et a été bordée par deux jetées, dont celle du S.-O., c'est-à-dire du côté d'où viennent les alluvions, est plus longue de 172 mètres que celle du N.-E. La première est pleine et insubmersible ; la deuxième est formée d'une claire-voie. Elles s'avancent vers le large d'environ 600 mètres en dehors de la ligne des falaises.

Le port de Boulogne ne peut recevoir en ce moment que des bâtiments de 3 à 4 mètres de tirant d'eau ; on se propose de le recreuser dans toute sa partie aval, et d'établir ultérieurement un bassin de flot éclusé.

Les vents régnants à Boulogne sont ceux compris entre le sud-ouest, l'ouest et le nord-ouest, et particulièrement ce dernier, qui développe une grande agitation. Le courant de flot qui vient à Boulogne du sud par la Manche porte ensuite de Boulogne à Douvres, et facilite singulièrement le trajet dans les vents d'ouest.

Les alluvions sont abondantes à Boulogne et de nature sablonneuse.

Port d'Ambleteuse.

Pl. 104. Fig. 538.

Ce petit port, presque entièrement comblé aujourd'hui par les sables, était, lors de la descente projetée en Angleterre, une succursale de Boulogne. On n'en fait mention que pour rappeler que dans quelques jours on était parvenu à y former un chenal provisoire, par des jetées basses, construites en petits piquets, en arrière desquels on avait placé des bottes de paille. Les alluvions en sable fin étaient déposées dans ces couches de paille par l'eau du flot, qui se frayait ensuite un passage à travers les piquets.

Pl. 104. Fig. 539 bis.

Le chenal du port d'Ambleteuse, dirigé est et ouest, est limité du côté du nord par une jetée basse d'environ 500 mètres de longueur ; et du côté du sud, par une jetée insubmersible d'environ 220 mètres de longueur, à la suite de laquelle vers le large est une jetée basse d'environ 278 mètres de longueur. Les chasses d'eau, complétement insuffisantes, n'ont pour réservoir qu'un fossé qui aboutit à une écluse de dessèchement.

Le port de Tréport.

Pl. 104. Fig. 540.

Le port de Tréport est situé à l'embouchure de la rivière de Bresle, à une lieue en aval de la ville d'Eu, au sud de la baie de Somme, sur une plage exposée aux mêmes vents régnants et aux mêmes alluvions que celle du port de Dieppe dont on parlera tout à l'heure.

Pl. 104. Fig. 541.

Le chenal d'entrée et le port sont dirigés à peu près du sud-est au nord-ouest et sont à l'abri des vents compris entre l'ouest-nord-ouest et le sud-sud-est en passant par le sud ; l'accès en est facile aux navires. Ces derniers peuvent prendre le large sans être exposés à périr, comme il arrive à Dieppe et aux ports de la Manche, dont les entrées sont ouvertes aux aires de vents entre l'ouest et le nord-ouest.

Le chenal, de 200 mètres de long et d'environ 40 mètres de large, est bordé aujourd'hui de deux jetées pleines en charpente. Celle du sud-ouest, de 230 mètres du côté d'où viennent les alluvions, est plus longue que l'autre, qui n'a que 160 mètres. Cette

dernière diverge de la première sur 40 mètres de longueur en deçà de l'extrémité vers le large.

La jetée du sud-ouest présente près de sa tête une claire-voie de 80 mètres de longueur, en arrière de laquelle est une plage de 20 mètres de profondeur moyenne.

La rivière de Bresle tombe au milieu de la passe, suivant un angle obtus de l'amont à l'aval de 112°.

Le port, bordé de quais brisés sur différents contours, a une longueur de 320 mètres environ sur une largeur de 80 mètres.

Au fond du port est une vaste retenue d'eau d'environ 700 mètres de longueur, et dont la largeur moyenne est d'environ 275 mètres. L'axe de l'écluse de chasse forme un angle d'environ 125° avec l'axe prolongé de la passe et de l'amont vers l'aval. On trouvera dans l'ouvrage publié par feu M. Décessart la description de cet ouvrage et de son exécution.

Aujourd'hui l'on se propose de rectifier le lit de la Bresle sur une largeur de 20 mètres, en empiétant sur les zones nord de la retenue, dont le nouveau lit ne sera séparé que par une large levée. On établira dans la rivière de Bresle un sas éclusé de 8 mètres de largeur en amont de sa jonction avec le chenal du port; l'on approfondira et élargira le lit de cette rivière en amont du sas pour le transformer en bassin de flot de 1$^{hect}$,60 de surface. Le sas éclusé avec 4 paires de portes busquées dont deux de flot et deux d'ebbe aura pour objet d'empêcher les eaux de la marée montante de pénétrer dans la rivière en rendant toutefois praticable le passage de l'écluse à toute marée haute.

Une petite écluse à clapet de 8 mètres de largeur, aussi annexée latéralement au sas éclusé, sera destinée à faire évacuer les eaux de la rivière à marée baissante de manière que, quelle que soit leur abondance, elles ne puissent dépasser un niveau constant suffisant pour la navigation jusqu'à la ville d'Eu, et en contre-haut duquel elles gêneraient les usines en amont et pourraient inonder les rives de la Bresle.

Dieppe est au fond de la baie de près de 40 lieues de longueur et de 13 lieues de renfoncement, qui est limitée au nord par le cap Gris-Nez et au sud par le cap d'Antifer ; la corde de cette baie est à peu près perpendiculaire à la direction des vents du nord-ouest. Port de Dieppe. Pl. 104. Fig. 542.

Le port de Dieppe est établi sur la rivière d'Arques. Il présente dans la partie la plus reculée une retenue d'eau de 46$^{hect}$,40 de surface en vive eau, avec écluse pour chasses, exécutée en 1780 par M. Décessart et Lamblardie père. Elle est alimentée par une dérivation de la rivière et au besoin par la mer, et peut lancer 520000 mètres d'eau dans la première heure d'ouverture des portes en vive eau. Pl. 104. Fig. 543.

On renvoie pour la description de cette écluse, des travaux d'exécution et des travaux subséquents de restauration, aux ouvrages de M. Décessart et aux mémoires de M. Bérigny, inspecteur général des ponts et chaussées.

L'arrière-port de Dieppe a 100 mètres de largeur moyenne sur 400 mètres de longueur, divisés en deux par une passerelle flottante; il reçoit au fond la rivière d'Arques

par dérivation. Situé latéralement à la retenue, et sur un axe à peu près parallèle, il débouche de front avec elle dans le port; mais comme ce dernier fait ensuite un coude presque à angle droit avec l'axe de la retenue, les chasses que cette dernière produit sont loin d'avoir toute l'efficacité qu'elles auraient eue si leur direction avait été très-oblique de l'amont à l'aval. Au reste, cette position de la retenue et de l'écluse de chasse se rattachait à un projet aujourd'hui abandonné et dans lequel on ouvrait une nouvelle passe entre le port et la pleine mer, à peu près dans le prolongement de l'axe de la retenue.

Sur la rive ouest de l'arrière-port ci-dessus, on a établi récemment et en communication avec lui un bassin de flot éclusé d'environ 250 mètres de long sur 120 mètres de largeur, ayant 560 mètres courants de quais accostables et pouvant contenir 25 grands navires.

L'écluse a 14 mètres de débouché; mais son grand éloignement des passes ne permet pas aux bâtiments de l'atteindre dans une seule marée, et les oblige à échouer dans l'avant-port.

A l'aval, le port présente un développement de 460 mètres de longueur sur 160 mètres de largeur moyenne, sur la rive sud duquel on remarque une cale de radoub de 70 mètres de longueur et de 50 mètres de profondeur en dedans de la rive. Au delà, par un nouveau coude d'environ 130°, le port se raccorde avec une passe d'entrée à contours brisés d'environ 600 mètres de longueur et 80 mètres de largeur moyenne et orientée à la tête vers le large, du nord-ouest au sud-est. Cette passe sur les 500 premiers mètres à l'amont est bordée de terre-pleins insubmersibles. A l'origine *amont* de la passe, sur la rive est, se trouve une claire-voie de 100 mètres de longueur de façade pour amortir les vagues, en arrière de laquelle est une plage de 60 mètres sur 25 mètres.

Une jetée pleine d'environ 300 mètres de longueur borde le chenal à gauche et à l'ouest du côté d'où viennent les alluvions; tandis qu'à l'est la jetée est bien plus courte et s'allonge en épi submersible.

D'après un projet récemment adopté, l'on doit placer à la suite de la jetée insubmersible de l'est un prolongement tracé suivant une courbe convexe vers l'intérieur de la passe, et de manière à réduire la largeur du chenal à 40 mètres vis-à-vis le Calvaire, c'est-à-dire à 100 mètres en deçà de la tête vers le large. On espère que par cette convexité le courant des chasses sera dirigé vers les zones extrêmes de la jetée de l'ouest, et entraînera au dehors les *pouliers* de galets amoncelés à l'intérieur de la passe au pied de cette jetée. On espère de plus que le ricochet des chasses sur ces pouliers portera les courants de flot vers l'est et repoussera ainsi les alluvions de manière qu'elles ne puissent plus rentrer dans la passe. La nouvelle jetée doit, dans ce projet, être à claire-voie pour amortir la violence des vagues dans la passe; et il y aura en arrière un brise-lame en plan incliné allongé, rattaché à la côte et raccordé avec la tête du prolongement de la jetée, sur lequel les vagues déferleront.

Il est question aujourd'hui de transformer l'arrière-port tout entier en bassin de flot,

en amont de la pointe du Pollet, où l'écluse de chasse est placée, et en ouvrant un nouveau débouché aux eaux de la rivière d'Arques. Les eaux de cette vaste nappe serviraient d'ailleurs d'auxiliaires à celles de la retenue.

Les vents régnants sont à Dieppe depuis le nord jusqu'au sud-ouest en passant vers l'ouest, mais particulièrement les vents d'ouest et nord-ouest qui donnent une grande agitation à la mer. Les alluvions sont formées de galets et menus graviers; leur origine est parfaitement expliquée dans le mémoire déjà cité sur les côtes de la haute Normandie de feu M. Lamblardie père.

Le port de St-Valéry, au sud de Dieppe, orienté à peu près comme ce dernier relativement aux vents et à la marche des alluvions, présente d'abord une passe d'environ 35 mètres de largeur au minimum comprise entre deux jetées convergentes; celle de l'ouest, du côté d'où viennent les alluvions, a 370 mètres de long; elle est percée d'une claire-voie de 120 mètres de longueur, avec bassin en arrière de 65 mètres de profondeur, tandis que la jetée de l'est n'a que 175 mètres, et est moins saillante de 180 mètres vers le large. Le chenal à l'amont se raccorde par un pan coupé avec un avant-port, lequel est suivi d'un arrière-port, tous deux à contours très-brisés. L'avant-port a environ 300 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur, l'arrière-port a 133 mètres sur 70 mètres. Des épis saillants à l'origine de la passe et sur le mur est de l'avant-port ont pour objet de guider les chasses d'eau. Sur la rive est de l'avant-port, et près de la passe, est une cale ou gril de radoub de 30 mètres de profondeur sur 15 mètres de largeur.

Port de Saint-Valéry en Caux.
Pl. 104. Fig. 542.
Pl. 105. Fig. 544.

Enfin, au fond du port, et presque dans le même axe, est l'écluse de chasse d'une grande retenue d'eau de 700 mètres de longueur sur 90 mètres de largeur environ, encaissée dans un vallon. Elle a sauvé ce petit port de l'engorgement par les galets, en fournissant 100000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes. On a récemment transformé cette retenue en bassin de flot, en établissant une écluse de navigation de $9^m,15$ de débouché à côté et à l'ouest de l'écluse de chasse.

Le port de Fécamp, situé au sud du précédent, est le premier au nord du cap d'Antifer, et il est placé comme les précédents, relativement aux vents régnants et aux alluvions.

Port de Fécamp.
Pl. 104. Fig. 542.

Son entrée, dirigée à peu près du nord-ouest au sud-est, est formée par deux jetées qui divergent vers le large et présentent un débouché minimum de 50 mètres. Celle du nord aboutit à l'avant-port par un raccordement presque à angle droit; celle du sud est isolée, et se raccorde presque à angle droit par un pont de service avec une chaussée frayée sur la crête des dunes de la côte au sud-ouest.

Pl. 105. Fig. 545.

L'avant-port, envahi vers l'ouest par les alluvions, ne présente guère aux bâtiments qu'une surface de 330 mètres sur 200 mètres.

En arrière de la rive sud-est de cet avant-port est une vaste retenue d'eau pour chasse, réduite aujourd'hui à 28 hectares environ de surface, établie sur le courant d'eau douce de la rivière de Valmont, et susceptible de fournir 800000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes.

Les chasses sont effectuées par deux écluses; l'une placée à peu près dans l'axe de

la passe, l'autre dirigée perpendiculairement aux quais du port, et vers la partie la plus reculée de ce dernier.

Un bassin de flot de 20200 mètres carrés de surface a été prélevé récemment sur la zone de la retenue d'eau adjacente à la fois à la ville et au port, et communique avec le port par la deuxième écluse de chasse de 10 mètres de largeur, appropriée à cette nouvelle destination.

La jetée du nord de la passe est saillante vers le large, à peu près autant que celle du sud, qui est du côté des alluvions; le coude qu'elle présente à sa rencontre avec l'avant-port forme un véritable écueil pour les navires lorsqu'ils franchissent les passes. Le but probable, mais tout à fait illusoire, de ce ressaut était de rompre la violence des vagues se pressant dans le chenal. Il s'agit aujourd'hui de faire disparaître ce tracé défectueux en substituant à cet angle rentrant une courbe concave vers la passe, formée par une estacade à claire-voie, établie sur un massif de maçonnerie submersible. Ce massif guidera le courant des chasses; la claire-voie diminuera la force des vagues qui iront déferler en arrière sur l'ancienne jetée conservée comme brise-lame.

Port du Havre-de-Grâce. On sait que le Havre, l'un des principaux ports de commerce de France, est à l'angle que forme la rive droite de la Seine avec les côtes de la Manche. En ce point, cette rive

Pl. 104. Fig. 542. est dirigée à peu près est et ouest, tandis que la côte s'allonge presque du sud ouest au nord-est jusqu'au cap d'Antifer. On sait aussi que le Havre est près d'une baie limitée au nord dans la Manche, au cap qu'on vient de nommer, et au sud par le cap de la Hague, qui termine la presqu'île du Cotentin. La corde de cette baie dirigée du nord au sud est d'environ 30 lieues, et la flèche ou le renfoncement est d'environ 12 lieues.

Pl. 105. Fig. 546. Le port du Havre communique avec le large par une passe orientée nord-ouest et sud-est, d'environ 200 mètres de longueur et 79 mètres de largeur, avec alignement brisé, bordée de deux jetées insubmersibles. Celle du nord, vers la côte, à raison des alluvions qui arrivent par là, se prolonge de près de 220 mètres au delà de la tête de la jetée du sud du côté de la Seine. Cette dernière se raccorde avec la célèbre digue d'enceinte qui borde la Seine au nord, et qui en isole une vaste retenue d'eau pour chasses, dite *la Floride*, de 7$^{\text{hect.}}$,600 ares de surface, lançant 114000 mètres cubes d'eau pendant la première heure de l'ouverture des portes.

L'écluse de cette retenue, récemment reconstruite, débouche dans la passe, suivant un angle obtus avec l'axe de celle-ci de l'amont à l'aval. Cette écluse est, du reste, située vers la moitié de la longueur de la jetée de l'est.

En amont de la passe, l'on trouve d'abord un avant-port d'environ 350 mètres de long sur 90 mètres de largeur moyenne qui possède un gril de carénage; puis le port proprement dit, quadrilatère irrégulier d'environ 300 mètres de long sur 150 mètres de large. On lui a donné récemment dans le terrain de la Floride, vers la Seine, au nord de la retenue des chasses, une annexe latérale, dite *Port-Neuf*, d'environ 160 mètres sur 230 mètres.

L'avant-port, le port-neuf, en un mot toutes les zones en amont du chenal qui décou-

vrent aujourd'hui à basse mer, ont une surface totale de 96000 mètres carrés et un développement de quais de 1600 mètres, et peuvent recevoir 200 bâtiments caboteurs.

Le côté nord-est du quadrilatère du port le plus reculé vers l'intérieur de la ville communique par une écluse de 13$^m$,65 de débouché avec un premier bassin de flot, dit de *la Barre*, d'environ 49700 mètres carrés. Ce bassin, d'abord rectangulaire sur 300 mètres de long et 80 mètres de large, s'évase ensuite en double trapèze, ayant ensemble 150 mètres de hauteur sur 250 mètres de largeur environ à la plus grande base. Le bassin de la Barre, qui a 1100 mètres de quais accostables, admet 80 navires de 200 à 700 tonneaux rangés sur trois lignes. C'est dans ce bassin que débouche, par une écluse de 12 mètres de débouché, le canal de navigation intérieure de Vauban, qui établit la communication entre le Havre et Harfleur. Ce canal, sur sa rive sud, présente un bassin d'environ 750 mètres de développement sur 70 mètres de large dans le haut et 40 mètres dans le bas, avec rives et talus, susceptible d'admettre 60 navires sur une ou deux lignes.

Sur le côté ouest du trapèze qu'on vient d'indiquer, le bassin de *la Barre* communique, moyennant une écluse de 13$^m$,65 de débouché, avec le deuxième grand bassin dit *du Commerce* ou *d'Ingouville*, grand rectangle orienté nord et sud, de 500 mètres de longueur sur 100 mètres de largeur, ayant 55000 mètres carrés de surface et 1200 mètres de quais accostables. Il peut recevoir sur trois lignes 100 navires de 200 à 700 tonneaux.

Transversalement, entre le deuxième bassin et le port d'échouage, est un troisième bassin, dit bassin *du Roi*, le plus ancien de tous, qui peut communiquer par des écluses avec celui *du Commerce* comme avec le port d'échouage. Sa forme trapézoïdale, de 150 mètres de hauteur environ sur 80 mètres de largeur moyenne, présente 13000 mètres carrés et peut contenir 20 navires de 200 à 700 tonneaux sur une ou deux lignes.

Récemment l'écluse d'entrée sud de ce bassin a été approfondie et élargie à 16$^m$,50 pour le passage des bateaux à vapeur.

Les chantiers de construction sont placés en dehors de la ville sur la plage nord au lieu dit le *Péré*.

Ces ressources ne sont pas encore suffisantes pour le grand développement qu'a pris le commerce du Havre, pour les éventualités des besoins de la marine militaire en cas de guerre maritime dans l'Océan, et surtout pour la navigation par bateaux à vapeur.

Il est question en ce moment : 1° d'élargir à 100 mètres le bassin de Vauban, de le revêtir de quais, dont les terre-pleins en arrière auraient 33 mètres au lieu de 26 mètres, largeur des terre-pleins des quais des autres bassins ; à l'extrémité sud de ce bassin élargi serait une cale de halage de bois du Nord, de 250 mètres de longueur sur 60 mètres de largeur ;

2° De détacher de la retenue de *la Floride*, et par un barrage, une enceinte pour les bateaux à vapeur du commerce et de la marine militaire, communiquant avec l'avant-port

par une écluse de 21 mètres de débouché, plus profonde d'un mètre que l'écluse de la Barre.

Les vents régnants au Havre sont compris entre le sud-ouest et le nord-ouest par l'ouest ; ils sont d'une grande violence par l'ouest et l'ouest-sud-ouest, et alors les navires ne peuvent sortir du Havre, quoique ces vents soient les plus favorables pour remonter la Seine. C'est aussi sous l'influence des mêmes vents régnants que les alluvions de galets sont les plus abondantes.

On rappelle, au reste, que l'étale de mer haute dure deux heures au Havre.

On renvoie, pour plus de détails, aux divers mémoires de feu M. Lamblardie père, et notamment à ceux sur les côtes de la haute Normandie et sur le canal latéral de la Seine ; au mémoire de M. Lamblardie fils, publié en 1826 à l'occasion du projet de canal maritime de Paris au Havre ; au rapport sur ce mémoire rédigé par M. Girard, membre de l'Académie des sciences ; aux diverses publications qui ont été faites au sujet de ce même projet de canal maritime ; enfin à l'ouvrage qui va être publié par M. l'ingénieur en chef Frissart, sous le titre d'*Histoire du Havre*.

Port de Honfleur. Pl. 104. Fig. 342. Honfleur est situé sur la rive gauche de la Seine, mais plus vers l'amont que le Havre ; les côtes de la mer y font suite aux bords de la Seine et sont orientées du nord-ouest au sud-est.

Les navires revenant de la mer dans la baie de Seine sont obligés, dans les gros temps, de se réfugier au Havre ou à Honfleur ; mais Honfleur a l'avantage que les appareillages y sont possibles, quel que soit le vent régnant. D'ailleurs, lorsqu'un navire est à Honfleur, il a moins de temps à parcourir pour franchir dans la Seine en amont et en une seule marée la barre de Quillebœuf. Toutefois, l'entrée du port de Honfleur, ouverte dans la direction du nord au sud, est souvent obstruée par des bancs de vase qui s'élèvent et disparaissent alternativement à la tête des jetées actuelles, et rendent très-difficile l'accès de la passe.

Pl. 105. Fig. 347. Honfleur possède aujourd'hui : 1° un avant-port trop exigu pour les bâtiments qui ne sont qu'en relâche ; et comme il est ouvert en partie aux vents du nord-ouest, l'on a été forcé d'y laisser un massif de vase pour amortir graduellement la vitesse des bâtiments poussés par un vent très-violent dans cet avant-port ; 2° une retenue d'eau pour chasse seulement de 95 ares de surface débouchant dans cet avant-port, et ne fournissant que 19000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes ; 3° deux bassins de flot éclusés, communiquant entre eux, avec la retenue et avec l'avant-port. L'un, le *vieux bassin*, avec écluse d'entrée de 10 mètres de large, a 96 ares de surface et 352 mètres de quais accostables, et présente une cale de carénage ; l'autre, le *bassin neuf*, a 1 hect., 13 de surface et 375 mètres de quais accostables. Son écluse d'entrée a 12 mètres de débouché. On s'en sert parfois aussi pour effectuer des chasses à l'aide des guideaux décrits dans la collection lithographique de l'École des ponts et chaussées. Le bassin vieux contient 38600 mètres cubes d'eau et le bassin neuf 50700 mètres cubes.

On projette en ce moment :

1° D'établir un troisième bassin de flot de 70 ares de surface et de 352 mètres de quais accostables dans les fossés de la zone la plus reculée de la ville, servant aujourd'hui de retenue d'eau pour les chasses; de le mettre en communication à l'est avec le bassin existant, dit *bassin neuf*, par une écluse à porte d'ebbe et de flot de 12 mètres de débouché, sauf à employer ce nouveau bassin, comme on le fait déjà avec les bassins existants, à produire des chasses pour nettoyer l'avant-port et le chenal ;

2° De prolonger la passe actuelle de 50 mètres de longueur en dehors de l'entrée du port par deux jetées en maçonnerie : la première, celle de l'ouest, de 200 mètres de longueur, prendrait naissance sur la jetée existant de ce côté; elle serait dirigée vers le nord et formerait *épi* d'envasement et de protection de la côte à l'ouest contre les attaques de la mer; la deuxième jetée à l'est, pareille à la précédente, mais plus courte, se raccorderait avec un quai neuf destiné à former l'enceinte d'un nouvel avant-port de 120 mètres de largeur. On espère qu'au moyen de ces jetées, la direction de la passe sera fixée nord-sud, et ne pourra plus être portée vers le nord-est, où elle recevait les courants de *verhole* chargés de vase. Enfin, l'entrée du port de Honfleur ne serait plus exposée qu'aux vents du nord, très-rares dans ces parages, et qui sont arrêtés d'ailleurs par la hauteur des côtes de la Normandie au nord de la Seine.

Le port de commerce de Cherbourg est situé au sud de la baie décrite à l'article *Port militaire de Cherbourg*, et dont le nouvel arsenal occupe la rive ouest. Le célèbre Vauban l'appelait l'*auberge de la Manche*. Port de commerce de Cherbourg.

Le port marchand de Cherbourg présente, dans le même axe et en arrière les uns des autres : 1° un chenal de 480 mètres de longueur sur 50 mètres de large, bordé de deux jetées en maçonnerie insubmersibles. Celle de l'est, du côté d'où viennent les alluvions, s'allonge de 200 mètres de plus que celle de l'ouest, qui vient d'être terminée sur 120 mètres de longueur. Pl. 102. Fig. 524.

2° Un port d'échouage d'environ 200 mètres de large, dont la longueur par les travaux en exécution va être portée sur la rive ouest à 360 mètres. La rive est forme encore le vieil arsenal de la marine militaire. Pl. 105. Fig. 548

3° Un bassin de flot éclusé avec pont mobile sur l'écluse, de 406 mètres de long et 127 de large, ayant 5$^{hect}$,16 de surface et 812 mètres de quais accostables, le long desquels 24 bâtiments de 200 à 700 tonneaux peuvent débarquer simultanément. Le bassin tout entier admettrait *en relâche* 240 bâtiments de toute grandeur. Son écluse a 13 mètres de débouché et 3$^{m}$,90 d'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. Au fond sud du bassin sont deux grandes cales de construction de 41 mètres de largeur chacune, séparées par un môle de 25 mètres de longueur dressé en plan incliné et formant *cale de carénage*.

4° Une retenue pour chasse, très-allongée, d'environ 602 mètres de longueur développée et de 60 mètres de largeur moyenne, alimentée par le petit cours d'eau douce de la Divette. Cette retenue s'étend parallèlement à l'est du bassin du flot, et débouche dans

l'avant-port, en convergeant avec l'axe de ce dernier par un aqueduc en dessous du terre-plein de séparation du bassin de flot et de l'avant-port. Cette retenue a 3$^{hect.}$,15 de surface et peut fournir 66000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes, sans le secours de la rivière, et 100000 mètres cubes avec cette dernière.

On exécute en ce moment au port de Cherbourg l'agrandissement de la partie ouest de l'avant-port. A l'extrémité nord du prolongement sera une cale de construction de 45 mètres de largeur, dirigée perpendiculairement à l'axe de l'avant-port. Ce dernier ainsi que la cale seront séparés de la rade par un terre-plein de 30 mètres de largeur moyenne, soutenu par des quais intérieurs et extérieurs.

Tout ce qu'on a dit, au reste, au sujet de l'arsenal militaire, sur les vents régnants et les alluvions s'applique ici.

**Port de Granville.** Granville est situé sur la rive ouest de la presqu'île du Cotentin, et sur une côte où les dénivellations de la marée sont près de leur maximum. Les approches, hérissées d'écueils, sont surtout dangereuses par les changements rapides et reversements des courants de flot et de jusant (voir le mémoire déjà cité de M. Monnier, ingénieur hydrographe).

**Pl. 105. Fig. 549.**

Granville est d'ailleurs au fond de la vaste baie de 70 lieues de corde et 30 lieues de profondeur, qui se trouve entre les caps saillants des presqu'îles du Cotentin et de Bretagne, baie qui est battue en plein par les vents régnants d'ouest et de sud-ouest.

**Pl. 105. Fig. 550.** La ville et le port sont sur le revers sud d'une langue de terre étroite qui fait une saillie de 1300 à 1400 mètres dans la mer.

Le port, qui ne possède point encore de bassin de refuge ou de flot, est situé dans l'angle de cette saillie avec la côte; et comme elle est orientée est-nord-est et ouest-sud-ouest, le port est abrité naturellement contre les vents du nord-ouest.

Un môle isolé à direction brisée et à chevron, présentant la pointe à l'ouest, avait été établi en 1783 sur 250 mètres de développement et sur des écueils préexistants. Son objet était d'abriter contre les vents du sud-ouest ou du sud. De plus, une jetée saillante sur le rivage à 320 mètres en arrière du môle, et orientée à peu près nord-ouest et sud-est, devait concourir avec le môle à diminuer l'agitation de la mer. Mais comme la mer était encore très-mauvaise dans les gros temps, l'on a prolongé récemment le môle isolé jusqu'au rivage, de manière à fermer la passe de l'ouest. Il est question de le prolonger aujourd'hui de 85 mètres vers l'est, afin de mieux abriter le port contre les vents du sud; de plus, les écueils dits les *grandes molières* qui rétrécissent la passe du sud-est, maintenant unique, seront dérasés au-dessous du niveau nécessaire pour le passage des navires à haute mer de morte eau.

La longueur totale des quais du port, avec 20 mètres de terre-plein en arrière, doit être portée à 564 mètres, dont 234 mètres devaient être complétés immédiatement. Enfin, il est question de la création à Granville d'un bassin de flot.

Les alluvions sont jusqu'ici peu abondantes à Granville, et de nature sablonneuse.

**Ports de Saint-Malo et de Saint-Servan.** Les ports de Saint-Malo et Saint-Servan, renfermés dans la même baie, sont situés sur la côte nord de la Bretagne et symétriquement avec Granville, au fond de la vaste

Baie décrite ci-dessus. Les dénivellations de la marée y sont à leur maximum, et procurent beaucoup d'eau à pleine mer pour l'entrée et la sortie; mais à basse mer, les bâtiments restent aujourd'hui à sec sur un fond de rocher recouvert de sable vasard.

Les vents régnants dans ces parages sont ceux compris entre le sud-ouest et le nord-est, mais particulièrement les vents du nord-ouest qui déterminent une agitation extraordinaire augmentée par des écueils nombreux, et souvent par l'opposition des courants de la marée.

Les ports de commerce et villes de Saint-Malo et Saint-Servan occupent les rives nord et sud d'une espèce de grand bassin naturel de 132 hectares de superficie à haute mer. Les eaux de ce bassin ne communiquent avec une rade foraine hérissée d'écueils que par un débouché d'environ 600 mètres de large, dirigé du nord-ouest au sud-est; mais ce débouché lui-même, parsemé de hauts-fonds et d'écueils, n'offre que des passes étroites et sinueuses de 40 à 50 mètres de largeur. Pl. 105. Fig. 551.

Les deux ports ne se composaient que de deux avant-ports rétrécis, de quelques quais et chantiers de construction.

Mais la marine militaire possède de plus un grand chantier de construction, dit *le Port Solidor*, sur la rive ouest de l'espèce de langue de terre que forme Saint-Servan. Cette rive est à la fois la rive droite de l'embouchure de la rivière canalisée de la Rance.

Le Port Solidor, qui présente six cales de construction pour frégates et corvettes, et tous les chantiers et magasins qui s'y rattachent, est au fond d'une crique de 180 mètres d'ouverture. Cette crique est calme, parce qu'elle n'est ouverte qu'aux vents du sud-ouest arrêtés dans ces parages par le relief des terrains de la rive gauche de la Rance.

De grands travaux actuellement en exécution, et dont les projets, primitivement conçus par Vauban, sont dus à MM. les ingénieurs Robinot et Girard de Caudemberg, vont changer entièrement l'état actuel des ports de commerce de Saint-Malo et Saint-Servan.

Une digue ou plutôt un terre-plein *imperméable* et *insubmersible*, de $26^{m},50$ de largeur minimum au couronnement, de près de 600 mètres de longueur, est projeté à peu près dans la plus courte distance entre Saint-Servan et Saint-Malo, au droit de la passe actuelle de sortie dans la rade foraine. Cette digue sera défendue contre la mer par un brise-lame placé parallèlement au large, et qui formera, dans l'espace qui le séparera de la digue, un avant-port spécial pour Saint-Servan. Le brise-lame aura sa crête à 40 centimètres au-dessus du niveau des plus hautes mers; il présentera une banquette de halage de 80 centimètres et un musoir à son extrémité nord. Son profil transversal sera un triangle.

A l'extrémité nord de la digue, presque sous les murs de Saint-Malo, sera exécuté un sas éclusé de la plus grande dimension avec portes d'ebbe et de flot à chacune de ses têtes; en sorte que le vaste bassin entre Saint-Malo et Saint-Servan, aujourd'hui couvert et découvert à chaque haute et basse mer, sera transformé en bassin de flot à niveau d'eau permanent, dont la grande surface fournira l'eau nécessaire aux sassements, sans réduction notable dans la profondeur d'eau intérieure.

L'avant-port spécial de Saint-Malo sera en dehors de l'écluse, abrité contre les vents de N.-O. par un môle insubmersible convexe vers le large, de 250 mètres de développement, de 2$^m$,80 d'épaisseur au couronnement sur les 220 premiers mètres, et de 11$^m$,60 d'épaisseur sur les 30 derniers près du musoir. Ce môle sera établi sur les rochers des *Noires*; sa plate-forme sera mise à l'abri des paquets de lame par un parapet d'au moins 1 mètre de hauteur.

Les alluvions de sable que le calme fera déposer en plus grande abondance qu'auparavant dans les deux nouveaux avant-ports de Saint-Malo et Saint-Servan, et qui dépasseraient ce qui est nécessaire pour l'échouage des navires, seront enlevées par des chasses multipliées qu'on pratiquera à l'aide de nombreux aqueducs ménagés sous les terre-pleins de la digue, dans les bajoyers de l'écluse, et même sous le môle de l'avant-port de Saint-Malo.

Le niveau permanent des eaux dans le nouveau bassin de flot sera celui des pleines mers de vive eau moyenne, et le buse de l'écluse à sas sera à 7$^m$,50 en contre-bas. La largeur des écluses au droit des portes a été portée à 17 mètres pour le passage de vaisseaux de 80 canons et de bateaux à vapeur de grande dimension. Le sas, de 72 mètres de largeur sur 78 mètres de long, pourra admettre simultanément cinq frégates et huit à dix navires du commerce de moyenne grandeur. Comme il y aura 5$^m$,50 d'eau sur le radier de l'écluse dans les moindres hautes mers de morte eau, les navires du commerce pourront, à haute marée, entrer dans le sas *sans sassements préalables*, et comme dans un port d'échouage.

Sur une des rives du sas sera un gril de visite et de radoub pour les grands bâtiments, et même des frégates pourront y être visitées et réparées dans la partie inférieure de leurs œuvres vives. Deux ponts tournants seront établis aux deux têtes de l'écluse, et la manœuvre d'entrée et de sortie des navires dans le bassin de flot sera combinée de manière qu'un de ces ponts tournants reste toujours disponible pour la circulation par terre entre Saint-Malo et Saint-Servan.

En dedans, le long de la digue et sur les rives nord et sud du nouveau bassin, on approfondira le sol de manière qu'il y ait 7$^m$,50 de profondeur d'eau sur 750 mètres environ de développement et 150 mètres de largeur moyenne; et 5$^m$,50 d'eau sur un développement de 2950 mètres, et une largeur moyenne de 60 mètres. Ainsi la surface totale de la partie du bassin consacrée au stationnement des navires tirant 7$^m$,50 et 5$^m$,50 d'eau sera de près de 289500 mètres carrés, c'est-à-dire plus que le double de l'ensemble du bassin de flot du Havre. De plus, une superficie presque égale présentera continuellement, et sans travaux de creusement préalable, une profondeur de 4 à 5 mètres dans le reste de cette immense retenue d'eau.

On renvoie, pour plus de détails, aux mémoires imprimés et aux débats des chambres législatives en 1833 relativement aux projets qu'on vient d'indiquer.

**Port de Roscoff.** Ce port est le plus septentrional du Finistère. Il est situé dans une petite baie abritée par l'île de Batz, qui n'en est séparée que par un canal ou passage d'environ 500 mètres

de largeur qui forme le port de Roscoff. Le fond, en sable vasard, assèche aux basses mers ; mais les marées y montent de $2^{m},90$ dans les mortes eaux, et de 2 mètres dans les vives eaux. Roscoff est abrité contre les vents régnants du sud-ouest au nord en passant par l'ouest par un môle en pierres sèches d'environ 312 mètres de long, dirigé d'abord vers l'est, ensuite infléchi vers le sud-est. Pl. 105. Fig. 531.

Du côté du large, la première partie au-dessus du môle est établie sur le rocher; la deuxième est défendue par un enrochement.

Comme ce môle ne couvre pas le port contre les vents du N.-E., assez fréquents et violents sur ces côtes, on avait proposé un second môle enraciné dans la rive de l'est de 240 à 250 mètres de long laissant au large du premier une passe de 40 mètres.

Les approches de Roscoff sont embarrassées par un grand nombre de roches dangereuses.

Les vents favorables pour entrer dans le mouillage entre Roscoff et l'île de Batz sont, par la passe de l'ouest, les vents du sud-ouest au nord; par la passe de l'est, ceux du nord au sud-est.

Les vents favorables à la sortie du même mouillage sont, par la passe de l'ouest, tous les vents de pleine comme de basse mèr; par la passe de l'est, les vents d'est ou de nord-est.

Les vents favorables pour entrer dans le port proprement dit sont ceux du sud-ouest au nord par l'ouest, et ceux de la sortie sont compris entre le nord-ouest et le sud en passant par l'est.

Les alluvions sont en sable vasard et peu abondantes.

Port de commerce de Brest.

Ce port est intercalé entre deux portions du port militaire et ne présente que des quais avec des terre-pleins, escaliers et cales débarcadères. Il n'a point de bassin de flot ni même de chantiers de construction; tout ce qu'on a dit sur le port militaire de Brest s'applique ici. Pl. 105. Fig. 527.

Il a été souvent question de transférer le port marchand de Brest en dehors et à gauche de l'embouchure de la rivière de Penfeld, à Postrein, sous les murs de la ville, en sorte qu'il serait en communication directe avec la rade, mais serait éloigné par cette disposition des magasins actuels du commerce, ce qui nécessiterait des transbordements sur *alléges*.

Port du Conquet

Ce port est situé à l'extrémité occidentale de la côte du Finistère, joignant l'entrée de la Manche. C'est une anse ouverte à l'ouest, imparfaitement abritée contre les vents régnants par les Iles de Molènes, de Quémener et de Beniquet. Les navires y éprouvent des avaries par le violent ressac que produisent les vents du sud-ouest. Le port, dont le fond est du sable et du gravier et qui reçoit peu d'alluvions, assèche aux grandes marées. La marée monte de $2^{m},50$ dans les mortes eaux et de $4^{m},60$ dans les vives eaux. A moins de deux encablures du port, on trouve un mouillage excellent de $8^{m},15$ à $7^{m},80$ de profondeur à basse mer, sur un fond de sable et de vase, protégé par les batteries de la côte. Pl. 105. Fig. 526.

Les vents favorables pour entrer au Conquet sont ceux du nord au sud par l'ouest, et pour sortir, ceux du nord au sud par l'est.

On avait projeté deux môles parallèles enracinés sur les deux rives opposées de l'anse et sensiblement perpendiculaires à ces rives; le môle du sud aurait eu 120 mètres, celui du nord, 100 mètres; ils auraient laissé entre eux une passe de 60 mètres.

Port de Camaret. Pl. 103. Fig. 526. Ce port est situé sur la rive sud de l'entrée du goulet de la rade de Brest. Ouvert au nord, il consiste en un petit golfe ou mouillage d'environ 400 mètres de profondeur et 600 mètres de largeur moyenne, resserré à l'ouverture. La profondeur de ce bassin assèche aux basses mers, et découvre un fond de sable vasard très-ferme. Les marées y montent de $3^m,60$ dans les mortes eaux et de $6^m,60$ dans les vives eaux. Le mouillage ordinaire est sur un fond vasard par 5 à 8 mètres d'eau à basse mer. Les vents favorables pour l'entrée du mouillage et du port sont ceux de l'ouest à l'est par le nord, et ceux favorables à la sortie, de l'est à l'ouest par le sud.

La port est abrité contre les vents régnants du sud et de l'ouest par un môle ou digue en maçonnerie, dite *Sillon de Camaret*, de 555 mètres de longueur, 3 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur, établi sur un banc de galets alluvionnaires. Ce môle a aussi pour objet d'arrêter, comme un épi, les galets venant du large.

Port de Douarnenez. Pl. 103. Fig. 526. Ce port est situé dans la zone sud-est de la vaste baie de Douarnenez, côte sud de la Bretagne. L'île Tristan forme une espèce de môle naturel au large. Ce port est double : la première partie, et qui est la principale, nommée le *Grand port*, se trouve à l'est; l'autre partie, nommée le *port Rhu*, à l'ouest.

Le grand port assèche journellement, et son fond est hérissé de rochers saillants; les marées y montent de près de 5 mètres dans les mortes eaux, et presque de 7 mètres dans les vives eaux. A 200 mètres au large, se présente un mouillage de 5 à 6 mètres sur un fond de sable. Mais ce mouillage n'est pas abrité contre le vent de nord-est. Les vents favorables pour entrer soit au mouillage, soit au port, sont ceux d'ouest et du nord-ouest jusqu'au nord-nord-est, et pour sortir, les vents favorables sont ceux de l'est et du sud jusqu'à l'ouest.

Le grand port, sur 100 mètres de largeur, était bordé de deux espèces de môles formant à la fois cales débarcadères. On projetait au nord un môle de 130 mètres de longueur enraciné dans la pointe de *Resmor*. Il devait être fondé dans les zones qui ne découvrent pas à basse mer, à l'aide de caisses en bois à claire-voie échouées jointivement, garnies en fortes palplanches du côté de l'accostage des bâtiments, et remplies par des enrochements.

Port d'Audierne. Pl. 103. Fig. 528. Ce port gît nord et sud, au fond de la baie d'Audierne, sur la côte sud-ouest de la Bretagne, si fameuse par ses naufrages. Cette baie est ouverte aux vents régnants ; ce n'est qu'un golfe aplati, vers lequel les houles du large s'accumulent. Quand la force du vent s'oppose à un grand déploiement de voiles, le dérivage empêche de doubler les caps extrêmes du Bec-du-Raz et de Penmarch; les navires n'ont plus alors qu'à

courir vers la côte où ils échouent, et sont bientôt ouverts et démolis par la mer.

Le port d'Audierne est à l'embouchure d'une petite rivière : il assèche le long de ses quais à hautes et basses mers, et ne conserve que 1 à 2m,60 dans le thalweg de la rivière. Les marées y montent de 3m,80 dans les mortes eaux et de 5 mètres dans les vives eaux.

Le fond du port est en sable fin vasard et coquillier. Les vents les plus favorables pour l'entrée sont ceux de l'ouest au sud-est, en passant par le sud ; ils sont dominants sur cette côte ; ceux pour la sortie sont compris entre le nord et l'est.

Il existe vers le large, en deçà d'un récif existant, un banc très-étendu qui rend difficiles les atterrages d'Audierne. Ce récif s'étend en longueur sur 1000 mètres de l'est à l'ouest et 500 mètres de largeur ; il forme, dans les gros temps et dans les hautes mers, une chaîne de brisants continus. On croit que l'exhaussement de cette espèce de môle naturel submersible assurera le calme dans la rade foraine en arrière.

L'entrée du port était faiblement protégée par un vieux môle d'environ 92 mètres de longueur, qui était devenu impuissant contre les sables poussés par les vents de la côte. Ces matières sont apportées et disséminées avec une telle violence, que l'air est obscurci par les nuages sablonneux qui traversent le bassin du port. La racine du môle était enfouie dans des bancs de sable qui s'avançaient rapidement vers les terrains particuliers très-élevés qui enceignent le port.

On avait proposé de prolonger le môle de 60 mètres et de l'exhausser ; les particuliers eux-mêmes cherchaient à se défendre contre l'envahissement des sables par des clôtures de 3 à 4 mètres de haut.

On construit en ce moment un quai de 650 mètres de développement accompagné de six cales.

Le port de Concarneau est sur la côte sud de la Bretagne, au fond d'une baie qui est imparfaitement abritée contre les vents du sud par les îles des Glénans, et à l'embouchure de la rivière du Morot. Le fond du port, qui correspond au thalweg de la rivière, présente à la basse mer un mouillage constant de 4m,90 à 6m,50 de profondeur. Les marées montent de 3m,50 dans les mortes eaux et de 5m,50 dans les vives eaux. Le fond est un sable vasard, herbacé, qui s'étend jusque dans le mouillage extérieur. Les vents favorables à l'entrée du port sont ceux du S.-S.-E. à l'O.-N.-O. en passant par le sud ; ce sont les vents contraires pour l'entrée au mouillage. Les vents favorables pour sortir du port sont ceux de l'E. au N.-N.-O. en passant par le nord. *Port de Concarneau.* *Pl. 103, Fig. 524.*

Le port présente une enceinte curviligne de 300 mètres. On y a reconstruit et porté à 91 mètres de longueur totale, un môle enraciné dans la pointe de Pendreff existante vers le sud.

On exécute en ce moment à Concarneau une cale de radoub et de carénage et un bassin de flot.

Ce port placé, en quelque sorte, au fond et sur l'une des rives d'une impasse, communique avec la rade intérieure par un chenal sinueux de 500 mètres de long et de *Port de commerce de Lorient.*

l. 103. Fig. 528. 60 mètres de large au plus, dirigé à peu près de l'ouest à l'est. Ce chenal, presque à angle droit avec celui du port militaire dans la rivière du Scorff, en est séparé par le massif qui contient l'arsenal et la ville de Lorient. Il débouche dans la rade presque Pl. 105. Fig. 532. vis-à-vis l'embouchure et le confluent dans cette rade des rivières du Scorff et des Blavet.

A l'amont, ce chenal forme un angle très-ouvert avec l'axe du long rectangle de 60 mètres de largeur, qui constitue aujourd'hui le port de commerce. Au fond de ce dernier est une retenue d'eau alimentée par la marée montante, et qui, à marée baissante, fait mouvoir un moulin à blé, et produit une chasse mal dirigée et sinueuse par bricoles, dans le port marchand et dans le chenal.

Les alluvions vaseuses y sont bien plus abondantes encore que dans le port militaire.

D'après un projet qui va être exécuté, le port rectangulaire sera divisé dans sa longueur en deux portions, par un barrage avec écluse qui transformera la portion du fond de 530 mètres de long et $3^{hect},7$ de surface au bassin du flot, et laissera la portion extérieure au barrage, sur 180 mètres de longueur, aux bâtiments de cabotage et de pêche.

L'écluse de passage avec pont mobile aura 10 mètres de largeur pour le passage de navires de 400 à 500 tonneaux. Le radier do l'écluse et le fond du chenal vont être établis à $5^m,57$ de profondeur en contre-bas des pleines mers d'équinoxe.

Port du Palais à Belle-Isle en mer.

Belle-Isle est la première terre que viennent reconnaître les navires de guerre et marchands qui reviennent dans le golfe de Gascogne, et dont la vue leur sert à rectifier Pl. 107. Fig. 528. les erreurs de leur route antérieure. Les mêmes bâtiments y cherchent souvent un refuge contre les tempêtes du sud-ouest et de l'ouest. C'est de plus une position militaire importante sur la côte du sud de la Bretagne.

Les vents régnants y sont compris entre l'est et l'ouest, et l'agitation de la mer y est alors très-grande.

Le port du Palais est situé sur la côte nord de l'Isle, presque vis-à-vis la pointe de Quiberon et à peu près au milieu de la longueur de l'Isle. Ce port, abrité contre les vents régnants, n'est ouvert qu'à l'est; mais les alluvions vaseuses y sont abondantes.

Pl. 105. Fig. 533. Sous l'Empire, on a défendu l'entrée de ce port par deux môles qui laissent entre eux une passe d'environ 23 mètres. L'avant-port d'échouage de près de 300 mètres de long présente des contours très-irréguliers; sa largeur moyenne est d'environ 70 mètres. En amont est un arrière-port d'environ 250 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur moyenne qui présente aussi des contours fort irréguliers; plus loin et à la suite vers l'intérieur est un deuxième arrière-port, dit *la Saline*, séparé du précédent par un goulet dit *pertuis*, d'environ 15 mètres de largeur. *La Saline* a, sur 360 mètres de longueur, une largeur moyenne de 50 mètres. Enfin, tout à fait au fond est l'*ancienne Saline*, desséchée dès 1827, et qui a 150 mètres de profondeur sur 50 mètres de largeur moyenne.

Il est question aujourd'hui : 1° de creuser le port, l'arrière-port et *la Saline* à 3 mètres en contre-bas des pleines mers de morte eau ; de transformer l'arrière-port et la Saline en bassins de flot avec écluse de 10m,60 de largeur, et d'établir dans l'ancienne Saline une grande cale ou gril de carénage avec radier en pente ascendante ; 2° d'essayer de diminuer l'agitation de la mer lors des vents d'est, par un brise-lame extérieur formant jetée transversale.

Le port du Croisic est situé sur la côte de Bretagne, entre les embouchures de la Vilaine et de la Loire, et forme le principal lieu d'exportation des sels du pays. C'est d'ailleurs le seul port de relâche pour des navires de 200 à 300 tonneaux sur une côte violemment battue par les vents d'ouest, de sud-ouest et même de nord-ouest, et qui n'est éclairée que par le phare du Four établi il y a une vingtaine d'années. Port du Croisic. Pl. 105. Fig. 528.

La direction du chenal d'entrée est à peu près de l'est à l'ouest, et elle est bordée de rochers qui ne permettent pas aux bâtiments de louvoyer. Les sables entraînés par les vents et les courants de flot produisent des atterrissements que le jusant ne peut enlever. En arrière du chenal, le port est divisé en trois enceintes d'eau parementées en pierre de taille et séparées par des îlots connus sous le nom de *jonchères*.

La surface des deux premières enceintes est de 2hect.,50 ares, et peut admettre deux cents navires du tonnage indiqué ci-dessus. La troisième enceinte, affectée spécialement aux *bâtiments à sel* et aux chaloupes de pêche, a une surface de 1hect.,65 ares. Le développement total des quais accostables est de 2800 mètres.

Il existe *neuf* cales de construction dans la première enceinte d'eau, trois dans la seconde.

Il était question, à l'aide de crédits spéciaux demandés aux pouvoirs législatifs :

1° De construire sur les rochers qui bordent le chenal une jetée en maçonnerie de 3 mètres d'épaisseur au couronnement, et dont le dessus serait à 2 mètres au-dessus du niveau des hautes mers d'équinoxe. Les parois ascendantes de la jetée seraient presque verticales.

2° De transformer en bassin de flot les trois enceintes d'eau, en barrant deux d'entre elles et les mettant en communication avec la troisième, qui serait munie d'une écluse avec pont tournant, et avec débouché de 16 mètres pour les bateaux à vapeur de l'État. Le plafond de la retenue serait au même niveau que le fond de la passe d'entrée.

Saint-Gilles est situé au fond du golfe de Gascogne, au sud de l'île de Noirmoutiers, sur la côte comprise entre l'embouchure de la Loire et la rade foraine formée par les îles de Ré et d'Oléron, dont il a été question à propos du port militaire de Rochefort. Saint-Gilles est presque vis-à-vis l'île d'Yeu. Le port est placé sur la rivière de *Vie*, dont l'embouchure est dirigée sud-ouest et nord-est. Il est susceptible de recevoir des bâtiments de 2m,60 de tirant d'eau, et sert de refuge à ceux qui sont affalés sur les côtes de la Vendée par les vents régnants compris entre le sud et le nord-ouest. Port de Saint-Gilles sur les côtes de la Vendée. Pl. 105. Fig. 530. Pl. 105. Fig. 534.

Le chenal d'accès du port est bordé du côté du nord d'un relief de terrain qui s'avance dans la mer en formant jetée ; du côté du sud, par une dune de sable, nommée la *Ga-*

*renne*, qui est séparée de la rive nord par un intervalle de plus de 180 mètres. Deux jetées ou épis saillants sur la rive nord en arrière l'un de l'autre, à 260 mètres d'intervalle, dénommés, celui vers le large, le *grand môle;* celui vers l'intérieur, le *petit môle*, ont l'un 108 mètres et l'autre 70 mètres de longueur.

Ce port est obstrué par les sables enlevés aux dunes qui couvrent Saint-Gilles du côté de la mer.

La tête de la dune saillante de sable, dite *pointe de la Garenne*, qui borde le chenal, a été détruite en 1833 par les tempêtes, et les bancs de sable menaçaient de barrer l'entrée du port de Saint-Gilles, et de refouler la rivière de Vie sur les terrains en amont. On exécute une jetée définitive, enracinée dans la partie subsistante de la dune de sable saillante mentionnée ci-dessus, et s'avançant au large sur un développement qui devait être d'abord de 440 mètres jusqu'à la laisse des basses mers de vive eau, et qui a été réduit à 160 mètres. Les projets conçus pour le port de Saint-Gilles ont été l'objet d'un examen approfondi par M. Lamblardie fils, inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes; et les résultats susceptibles d'une application générale appellent la publication des mémoires rédigés à ce sujet par cet ingénieur expérimenté.

**Port des Sables d'Olonne.**

Pl. 103. Fig 550.

Ce port est placé au sud du précédent au fond d'une crique, et sur une côte sujette aux mêmes vents régnants et à la même marche d'alluvions sablonneuses que celle des atterrages de Saint-Gilles. Il présente une surface de 6 hectares et peut recevoir 250 bâtiments. Le développement des quais accostables est de 1400 mètres.

Pl. 105. Fig. 553.

La ville des Sables d'Olonne est bâtie sur une langue de terre fort étroite, dont une des rives est tournée vers le large; l'autre, tournée vers l'intérieur, forme le port de commerce. Ce dernier communique avec la crique extérieure par une passe orientée nord et sud d'environ 650 mètres de longueur, et d'une largeur minimum de 70 mètres, évasée en entonnoir de manière à avoir 230 mètres aux têtes vers le large.

Cette passe longe à l'ouest un coteau dont le pied forme sa rive ouest; cette rive est soutenue par des murs. De plus, à la pointe du fort Saint-Nicolas et à l'ouest, est une jetée insubmersible de 200 mètres de longueur, saillante vers le large, qui fait suite au coteau, et qui s'avance dans la mer de 200 mètres de plus que la jetée de l'est. Cette dernière est aussi insubmersible et a été exécutée en maçonnerie sur 725 mètres de longueur, il y a plus de quarante ans, par M. l'ingénieur Lamandé père. Elle a pour objet d'empêcher les vagues dans les gros temps, et les courants de flot d'enlever le sable de la crique et de le porter dans la passe. Les mémoires rédigés sur le port de Saint-Gilles, et mentionnés à propos de ce port, donnent aussi beaucoup de détails sur l'efficacité des ouvrages exécutés à l'entrée du port des Sables d'Olonne.

**Port de commerce de la Rochelle.**

Pl. 103. Fig. 550.

La ville et le port de la Rochelle, célèbres par le siége qu'ils soutinrent sous Louis XIII, sont au fond de la même baie où est Rochefort, et en arrière des îles de Ré et d'Oléron, déjà mentionnées plus haut. Mais la Rochelle est à l'extrémité nord de la côte est de cette baie, et dans un renfoncement de cette côte, presque vis-à-vis la pointe de l'île de Ré.

On voit que la position de la Rochelle la préserve de l'agitation de la mer de tous les vents, depuis le nord-ouest jusqu'au sud en passant par l'ouest. L'entrée du port de la Rochelle est dirigée à peu près de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-est.

En venant du large, on rencontre, en avant de la Rochelle, une espèce d'anse de 1440 mètres d'ouverture et de 1200 mètres de profondeur, à l'ouverture de laquelle était la célèbre digue de Richelieu, dont il ne reste plus que les fondations qui découvrent à basse mer. Les têtes de ces débris de môles laissent au milieu une passe aujourd'hui de 100 mètres d'ouverture. Sur la partie sud de la digue, on a bâti un môle de 270 mètres de long, enraciné à la pointe du rivage appelée *des Minimes*, afin de couvrir les bâtiments en quarantaine. On avait le projet de prolonger le môle et d'en élever un pareil de l'autre côté de l'anse, également sur les fondations de l'ancienne digue, et de manière à transformer cette anse en avant-port. Pl. 105. Fig. 356.

A travers cette anse, du sud-ouest vers le nord-est, se dirige un long chenal de près de 1700 mètres de développement et de 30 mètres de largeur moyenne, qui s'étend jusqu'à l'entrée du *havre d'échouage*. Ce chenal est creusé dans un sol vaseux sur une profondeur de $1^m,50$ à 2 mètres en contre-bas des rives, et tend à se combler chaque année par les dépôts vaseux.

A la distance d'environ 1100 mètres à l'est de la digue de Richelieu et dans l'intérieur de l'anse, le chenal susdit, prenant le nom d'*avant-port*, commence à être bordé au sud d'une jetée de 662 mètres de longueur, destinée à couvrir le port et à faciliter le halage. Cette jetée et le terre-plein en arrière au sud forment une saillie trapézoïdale.

Sur la rive nord de l'avant-port, dans sa partie la plus reculée vers la ville, est un chantier de construction qui a 350 mètres de longueur parallèlement au chenal, avec trois cales de construction en charpente. Ce chantier, à son extrémité ouest, est défendu contre la mer par une digue d'enceinte de 157 mètres de longueur.

L'avant-port et le havre d'échouage communiquent entre eux par une passe de 27 mètres, dite *Saint-Nicolas*, qu'on pouvait fermer par des chaînes.

Le *havre* est un grand quadrilatère d'environ 300 mètres de longueur sur 120 mètres de largeur moyenne. Il présente, en rampes et quais accostables, un développement de 720 mètres.

Sur la rive sud-est du *havre* est le bassin de flot éclusé à peu près carré sur 120 mètres de côté, de $1^{hect.},44$ de surface d'eau, ayant 308 mètres de quais de déchargement et 138 mètres de quais de carénage. Il peut recevoir une trentaine de navires *bord à quai*, depuis 26 jusqu'à 300 tonneaux. Ce nombre peut s'élever à quarante-deux en plaçant les navires sur deux rangs.

La quantité considérable des dépôts annuels qui se forment dans le chenal, l'avant-port et dans le havre d'échouage de la Rochelle, avait fait établir dès longtemps des manœuvres d'eau de chasses.

Dans l'angle nord-est du havre d'échouage est l'écluse de chasse dite du *Port neuf*, au débouché du canal *Maubec*. Ce canal reçoit les eaux des canaux de Niort et celles

des fossés est et sud des fortifications. La surface totale de cette première retenue est de 13 hectares, et le volume d'eau qu'elle contient n'est pas de plus de 180000 mètres cubes dans les marées ordinaires. A cette ressource principale se joignent :

1° Le produit éventuel des deux ventelles des portes du bassin de flot ; 2° dix pertuis ou aqueducs de chasse établis à travers les quais et à travers la partie nord du havre d'échouage, et qui puisent leurs eaux dans les fossés nord des fortifications ; 3° une deuxième écluse de chasse débouchant dans le chenal d'entrée, à l'extrémité *nord-ouest* de l'avant-port, en y amenant les eaux des fossés *ouest* des fortifications.

L'insuffisance de ces moyens a forcé de recourir aux dragages à main et par machines flottantes.

Il est question en ce moment, pour améliorer les retenues actuelles, d'élargir et d'approfondir le canal *Maubec* et tous ses affluents, de manière à porter le volume d'eau retenu à 525000 mètres cubes sur une profondeur moyenne de $3^{m},25$. On utiliserait en même temps ce canal comme bassin de réunion de la navigation maritime et de la navigation fluviale, en substituant à l'écluse de chasse actuelle du *Port neuf* une écluse de navigation à portes d'ebbe et de flot, et en faisant passer l'*eau des chasses* par des pertuis latéraux ménagés dans l'épaisseur des bajoyers.

On se propose, de plus, d'établir une nouvelle retenue d'eau, avec écluse de chasse, dans la partie sud de l'avant-port, de manière que les chasses se dirigent vers le chenal sous un angle obtus d'environ 155 degrés. Le nouveau réservoir, conquis sur la plage même, soutenu par des digues et terre-pleins d'enceinte, communiquera avec les fossés des fortifications, et servira aussi de bassin de flot par l'accolement à l'écluse de chasse d'une écluse de navigation qui donnera accès aux navires.

Port de Saint-Martin dans l'île de Ré.

Pl. 103. Fig. 330.

Ce port, précédé d'une rade excellente, se trouve sur la côte nord de l'île de Ré.

La sortie par les vents d'est y est très-difficile, et les vents d'ouest occasionnent un ressac violent.

L'entrée du port est comprise entre les deux demi-bastions d'un ouvrage à cornes défensif ; elle est couverte par un éperon ou contre-garde défensif détaché qui forme ainsi un môle isolé avec deux passes. Celle de l'est est seule praticable ; le fond de celle de l'ouest s'est exhaussé par les atterrissements.

Le port, de forme irrégulière, est entouré de quais d'un développement de 560 mètres, ayant onze rampes de déchargement.

On transforme en ce moment en bassin de flot de $1^{hect.},56$ de surface et en retenue de chasse, un marais d'alimentation d'un moulin. L'écluse d'entrée aura 10 mètres de débouché.

Port de Saint-Denis dans l'île d'Oléron.

Pl. 103. Fig. 330.

Ce port est situé dans le pertuis d'Antioche et a son ouverture sur la côte nord-est de l'île.

Son emplacement est au milieu de bancs de rochers. Il s'y trouve naturellement deux passes, dont la principale est celle du nord.

Une jetée en pierres sèches de 232 mètres de longueur garantit le port contre les

tempêtes depuis le nord ouest jusqu'au nord-est. Elle est interrompue aux trois quarts de sa longueur par la passe *principale nord*, de 7 mètres de débouché. On a laissé à l'enracinement de cette jetée dans la falaise une autre passe de 75 mètres pour l'écoulement des sables qui, sur cette côte, cheminent du nord au sud.

Le port est encombré par les sables. On avait pensé en diminuer les dépôts en élargissant la passe de 75 mètres ci-dessus mentionnée ; mais cette opération, tentée en 1834, n'a eu aucun succès.

On s'occupe dans ce moment de prolonger au contraire vers la falaise la jetée indiquée plus haut, et de l'exhausser au-dessus des plus hautes mers.

Ce port est situé dans le détroit dit *les Courreaux d'Oléron*, et sert de principal débouché aux nombreux marais salants de l'île d'Oléron. Port du Château dans l'île d'Oléron.

Son emplacement est au pied des ouvrages qui couvrent le front de la citadelle, et le port sert de fossé à cet ouvrage. Son entrée, comprise entre deux éperons de maçonnerie, n'a que 8 mètres de débouché. Elle est abritée par deux môles ou jetées; l'une, dite la jetée du nord, a 80 mètres de longueur; l'autre, dite contre-jetée du sud, s'exécute avec les produits de délestages et aura 100 mètres quand elle sera terminée. Pl. 105. Fig. 330.

L'intérieur du port n'a que 120 mètres courants de quais, et ne peut suffire qu'à l'embarquement et au déchargement simultané de 8 bâtiments de diverses grandeurs. Mais il en admet un plus grand nombre pour relâche et stationnement en cas de mauvais temps.

Le port est précédé d'une grande plage vaseuse, d'une pente très-faible, qui, dans les hautes mers ordinaires, n'a que $2^m,50$ d'eau.

On projette d'établir une écluse de chasse de 4 mètres de débouché, sur le radier de laquelle l'eau montera de $4^m,50$ dans les grandes marées, et en arrière de laquelle sera un réservoir de 100000 mètres cubes d'eau.

La baie de Saint-Jean-de-Luz, qui renferme à la fois le port et la ville de ce nom et le port de Soccoa, est à l'angle de la côte du golfe de Gascogne, qui court du nord-ouest au sud-est, et de celle qui se dirige du nord-ouest au sud-ouest. M. de Prony a fait remarquer que si, à partir de Bayonne et de Saint-Jean-de-Luz, on trace sur le globe un arc de grand cercle qui aboutisse à la côte de Terre-Neuve, dans l'Amérique du Nord, on ne rencontre pas dans toute cette étendue une seule proéminence au-dessus de la surface de l'eau. La longueur de cette zone fluide continue, dirigée du nord-ouest au sud-est dans le sens des vents régnants, n'est pas moindre de 444 myriamètres. MM. de Prony, Duleau et plusieurs autres ingénieurs ont attribué à cette circonstance remarquable la violence de la marée à Saint-Jean-de-Luz, et sa tendance continuelle à corroder une plage qui n'offre point d'ailleurs une grande résistance. En effet, la ville de Saint-Jean-de-Luz est au fond d'une crique sablonneuse ayant près de 1000 mètres de largeur à l'entrée, et un renfoncement presque équivalent ; la rivière de Nivelle, qui débouche dans la crique par un chenal d'environ 25 mètres de large, forme le port.

Ports de Saint-Jean-de-Luz et de Soccoa. Pl. 106. Fig. 337. Pl. 106 Fig. 338.

On peut voir dans l'ouvrage sur les ondes de Bremontier, et dans un article de feu

M. Duleau, ingénieur en chef, rédigé au sujet du nouveau système d'ouvrages à la mer de M. le colonel Emy, et inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832, l'historique des ravages causés par les tempêtes, de la marche alternative des alluvions de sable et de galets, des moyens essayés pour diminuer l'agitation et les empiétements de la mer dans la rade de Saint-Jean-de-Luz. On fera bien de lire aussi un article sur la même baie, publié par M. Monnier, ingénieur hydrographe, dans les *Annales maritimes et coloniales* de 1837.

Pl. 106. Fig. 558. On a remplacé dans ces dernières années avec succès la digue de garantie de la rive de Saint-Jean-de-Luz par une grève artificielle en sable de 600 mètres de longueur sur 6$^m$,50 de hauteur au-dessus des pleines mers de vives eaux.

Port de Soccoa. Le petit port de *Soccoa* est placé près de l'entrée et à l'ouest de la rade de Saint-Jean-de-Luz, dans une espèce de renfoncement, dont l'ouverture étant tournée vers le fond de la rade, est moins agitée que le reste de cette rade. Cette ouverture est comprise entre deux môles dont les directions sont perpendiculaires entre elles. Le môle, orienté nord-ouest et sud-est, dit *jetée du Nord*, de 130 mètres de longueur, dépasse l'alignement de celui qui, sur 290 mètres de longueur, est orienté du sud-ouest au nord-est, et qui est dit *jetée du Sud*. Pour amortir encore davantage l'action des vagues, l'on a dirigé, en dedans du port, sur 50 mètres de longueur, un troisième môle également orienté nord-ouest et sud-est, mais plus court que son parallèle extérieur, de manière qu'il y ait entre eux une espèce d'avant-port de 140 mètres. Le port, de forme irrégulière, présente une surface d'environ 1500 mètres carrés.

*Principaux ports de commerce français dans la Méditerranée non sujets aux marées.*

Port-Vendres dans le Roussillon. Pl. 106. Fig. 559. Pl. 106. Fig. 560. Port-Vendres est sur le côté ouest du golfe de Lyon, presque à l'entrée de ce golfe en venant de la Catalogne, au fond d'une baie limitée au nord par le cap de Collioure, et au sud par le cap de Creux. Ce dernier cap sépare cette baie du golfe de Roses en Espagne. L'entrée de Port-Vendres est dirigée du sud-ouest au nord-est; elle présente un rocher isolé qui la divise en deux passes, auquel on a attribué le fait remarquable que ce port n'était point ensablé. Mercadier, dans son mémoire sur les ensablements, p. 241, 243, donne une autre explication. Selon lui, le cap de Collioure éloigne le courant littoral de la baie de Port-Vendres ; ce courant, refoulé par la saillie très-prononcée du cap de Creux, donnerait lieu à un contre-courant du sud au nord, qui entraînerait les sables et les repousserait dans le courant principal. Cette explication paraît peu satisfaisante ; car dans l'Océan les renfoncements des côtes, les contre-courants donnent plutôt lieu à des dépôts d'alluvions qu'à des approfondissements littoraux. Il est probable que le fait en question provient de l'exposition des côtes environnantes par rapport aux vents régnants, de la nature de ces côtes et de la direction dans laquelle les vagues arrivent et se réfléchissent sur le littoral.

Quoi qu'il en soit, Port-Vendres, dont le bassin est formé par la nature, est abrité

contre les vents régnants et toujours accessible à des bâtiments de commerce du premier rang. La tenue y est excellente, et il est difficile que des escadres ennemies le bloquent sans courir le risque d'être entraînées et perdues corps et biens dans le golfe de Lyon.

La conquête d'Alger et le minimum de distance par mer qui se trouve entre Port-Vendres et les possessions françaises d'Afrique, ont donné une grande importance à ce port, que le célèbre Vauban avait signalé pour la création d'un arsenal militaire.

Le port proprement dit a une surface de $9^{hect.},50$ et un développement de 550 mètres de quais, dont 250 mètres seulement sont accostables par les navires. Cent navires pourraient au besoin y mouiller.

On projette en ce moment d'approfondir le port et de creuser sur la rive ouest le bassin projeté dès 1752, qui aura 340 mètres de long, 15 mètres de large à l'entrée et 126 mètres de longueur au fond, et dont la profondeur variera de 4 à 9 mètres. Cette profondeur sera moindre sur les bords que dans la partie centrale réservée aux bâtiments de guerre. La surface totale du bassin sera de $4^{hect.},10$ ; elle présentera 600 mètres de développement de quais, et pourra contenir cinquante navires d'un tonnage moyen. Sur les rives du bassin, sera un emplacement pour trois cales de construction et pour cinq grils de carénage.

Ce port de commerce, si important par ses communications avec l'étang de Thau et autres environnants, et avec le canal de Languedoc, à raison du commerce d'exportation des vins et eaux-de-vie du Midi, est situé au fond du golfe de Lyon, sur une côte orientée du nord-est au sud-ouest. Ses parages sont exposés aux vents compris depuis l'est jusqu'à l'ouest en passant par le sud. Port de Cette. Pl. 106. Fig. 361.

Le port de Cette date de 1665 et a eu Vauban pour fondateur. Dès sa création, on l'abrita :

1° Contre les vents du sud par le môle Saint-Louis, enraciné dans la côte et dirigé est-ouest sur environ 624 mètres de développement;

2° Contre les ensablements et les vents d'est, par la jetée de Frontignan.

Une jetée intérieure dite *4 et 5*, transformée plus tard en môle dit du nord-ouest, de 550 mètres de longueur, fut construit plus tard pour préserver contre les vents du sud un renfoncement de la plage nord de l'avant-port.

L'ingénieur Niquet remarquant en 1700 qu'à la tête des jetées il y avait toujours beaucoup de profondeur d'eau, et que les ensablements dans l'intérieur du port s'étendaient jusqu'au milieu de l'énorme passe entre le môle Saint-Louis et la jetée de Frontignan, fit exécuter un môle isolé dit *de l'est* d'environ 200 mètres de longueur ; ce môle laissait entre ses extrémités et celles des deux jetées saillantes enracinées dans les rives, deux passes, l'une orientée du nord au sud, et l'autre de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest. Pl. 106. Fig. 362.

Le premier effet de cet ouvrage fut de rendre aux passes toute leur profondeur; mais ce fut aux dépens de la sécurité de la navigation. Plus tard, l'abandon des moyens journaliers de curage pendant la révolution française fut désastreux.

Les ensablements menaçant toujours d'engorger l'intérieur du port de Cette, l'on crut y remédier, en fermant, de 1807 à 1814, la passe ouverte aux vents de nord-est ; en reliant, à cet effet, le môle isolé avec la jetée de l'est dite *de Frontignan* ; enfin en prolongeant ce môle isolé vers le sud, de manière à donner 700 mètres de développement à l'ensemble de l'ouvrage. Bientôt l'expérience prouva que les ensablements, loin de diminuer, n'avaient fait que se déplacer et se porter de l'intérieur du port vers la passe unique de 260 mètres de largeur qu'on avait conservée au sud. L'on établit alors de 1820 à 1830, en avant de cette dernière, un brise-lame ou môle isolé convexe vers le large, d'environ 500 mètres de longueur, lequel a formé deux nouvelles passes, l'une au nord-est et de 200 mètres de largeur, l'autre à l'ouest, de 300 mètres.

On attendait de bons effets de cette disposition, empruntée probablement au port de Civita-Vecchia, situé sur la rive italienne de la Méditerranée opposée à Cette. Mais l'on a été déçu dans cette prévision, et des bancs de sable se sont formés dans les passes en dedans du nouveau môle, par suite du calme qu'il déterminait. Une commission spéciale, formée en 1833, a déclaré, sur le rapport de M. l'ingénieur en chef Bernard, aujourd'hui directeur des travaux maritimes à Toulon :

1° Qu'un premier curage effectué rapidement sur une grande échelle avec des appareils mus par la vapeur, suivi d'un entretien permanent qui serait opéré avec une partie de ces appareils, était un moyen indispensable pour conserver le port de Cette au commerce, et de remédier à une importation annuelle de sables évaluée à 70000 mèt. cubes par an.

2° Qu'il fallait rouvrir le pertuis primitif de 105 mètres qui existait autrefois entre la jetée de Frontignan et le môle isolé de l'ingénieur Niquet, et rendre ainsi aux sables qui viennent principalement par le nord-est leur passage dans la zone nord du port. Cette zone leur serait définitivement délaissée, sauf les dragages annuels et sauf une jetée qui isolerait la même zone du reste du port.

3° Qu'il fallait exécuter un canal direct de communication entre cette zone nord et l'étang de Thau, pour y avoir, surtout dans les gros temps, un plus *fort appel d'eau et de sables*, et diminuer ainsi la quantité de sables qui se dirigerait vers le nouveau môle isolé et vers ses deux passes.

4° Qu'il fallait intercepter par le même motif que ci-dessus la communication du fond du port de Cette avec l'étang de Thau et avec le canal de la Peyrade, à l'aide d'écluses à sas dont les portes seraient busquées du côté de la mer.

On avait même proposé antérieurement de tronçonner par des coupures que les tempêtes eussent agrandies, le nouveau môle exécuté de 1820 à 1830, en lui appliquant ainsi le système de l'ingénieur italien Fazio, dont il sera question plus loin.

Mercadier, dans les chapitres 9, 10 et 12 de l'ouvrage déjà cité, attribuait les ensablements du port de Cette :

1° A l'action des tempêtes sur les sables de la plage intercalaire entre Cette et l'embouchure du Rhône. Ces sables ainsi mis en suspension sont charriés, selon lui, par le

courant littoral accéléré par le vent régnant du sud-est (*sirocco*), puis déposés par le courant partout où il y a ralentissement de vitesse, soit par cessation de vent forcé, soit par des renfoncements de la côte et par des zones d'eau stagnantes.

2° A l'action du vent d'est sur les sables des dunes qui sont au levant de Cette.

Dans les chapitres 11 et 12, Mercadier assimilait par erreur les courants de jusant dans la Méditerranée, lesquels sont insignifiants pour des dénivellations de marées de 40 à 50$^c$, avec les courants produits par le jusant dans l'Océan, et même avec ceux des écluses de chasse dans les ports de l'Océan. Il proposait en conséquence de faire arriver le flot de la mer dans l'étang de Thau et de le faire ressortir par le port de Cette, ou bien de dériver une partie de la rivière de l'Hérault dans l'étang de Thau.

Les *Annales maritimes et coloniales* d'avril 1839 renferment un mémoire fort intéressant sur la cause des ensablements du port de Cette, publié par M. l'ingénieur hydrographe Le Bourguignon-Duperré.

L'avant-port de Cette, orienté du nord-est au sud-ouest, a 600 mètres de longueur et une largeur irrégulière, mais moyenne, de 200 mètres Il se raccorde presque à angle droit avec le port proprement dit, qui a 550 mètres de longueur environ et une largeur moyenne de 80 mètres. Le développement des quais accostables est de 830 mètres, depuis le môle Saint-Louis jusqu'au pont en charpente, et de 520 mètres sur la rive neuve du sud. Ce port, en se prolongeant dans l'intérieur des terres, s'embranche par un canal avec l'étang de Thau, et presque à angle droit avec le canal de la Peyrade.

On projette en ce moment l'exécution des travaux suivants au port de Cette :

1° Curage extraordinaire, à l'aide de dragues à vapeur et d'un bateau à vapeur remorqueur pour les embarcations destinées aux transports et versements des produits du curage ;

2° Établissement de deux barrages éclusés à trois passages, l'un sur le canal de Cette, à l'étang de Thau, l'autre sur le canal de la Peyrade ;

3° Achèvement du brise-lame ; construction le long de l'avant-port d'un quai de soutènement de la jetée de Frontignan et de ses prolongements au sud ; établissement sur le sommet de cette jetée d'un chemin couvert en maçonnerie pour la rendre praticable dans les gros temps ;

4° Construction aux deux extrémités du brise-lame, à la tête de la jetée de Frontignan et en avant du môle Saint-Louis, de musoirs en maçonnerie de béton à *parement vertical*, s'élevant de fond au pied des enrochements, desquels on attend, outre la consolidation des ouvrages en arrière et la délimitation des passes, un *effet de ressac assez fort pour diminuer* les ensablements dans les passes.

5° Agrandissement de la surface d'eau par le creusement d'une darse, avec quais en maçonnerie, au nord et en arrière de la jetée intérieure dite 4 *et* 5. L'on ouvrirait à travers cette jetée deux passes de communication avec l'avant-port. Ce bassin serait prolongé en canal jusqu'à la darse de la Peyrade qui elle-même serait approfon-

die, en sorte que les navires pourraient le traverser pour se rendre du nouveau bassin dans l'ancien port.

Port de Marseille. Ce port de commerce, devenu le plus important de la France, est situé sur la côte est Pl. 106. Fig. 563. du golfe de Lyon, et à peu près au tiers de la longueur de cette côte en partant de l'entrée. Les parages d'alentour sont ouverts aux vents compris entre l'est et le sud-ouest Pl. 106. Fig. 564. par le sud. La rade et l'avant-port de Marseille sont sur le côté d'une crique ouverte aux vents du sud-ouest. L'entrée de l'avant-port, qui n'est bordée d'aucune jetée, est dirigée du nord-est au sud-ouest, et se trouve ainsi à l'abri des vents marins régnants dans la Méditerranée. Mais elle est précisément dans la direction du *mistral* (vent du nord-est); en sorte que ce vent favorable hors la passe, pour la plupart des destinations des bâtiments de la Méditerranée, est un obstacle à l'appareillage.

L'avant-port communique avec le port proprement dit par un goulet de 80 mètres de débouché, au milieu duquel se trouve un pilier d'amarre pour chaînes de fermeture.

Le port actuel est un grand bassin parfaitement abrité, de 950 mètres de longueur sur environ 300 mètres de largeur et de 27 hectares de surface; il est affecté principalement aux chargements et déchargements des navires, pour lesquels il y a 1785 mètres de développement de quais, non compris 790 mètres de développement des quais du canal d'entrée. Neuf cents navires peuvent se trouver simultanément à Marseille.

Dans l'ancien emplacement de la *darse* des galères du roi, est un canal à trois *branches* dit *canal de la douane* qui sur 500 mètres de développement n'a que 13 et 14 mètres de largeur et 2 mètres de profondeur d'eau.

Pl. 101. Fig. 500. Le stationnement des bâtiments en quarantaine se fait dans la grande rade près des îles de Pomègue et Ratonneau, réunies sous la Restauration par une digue de 350 mètres de longueur. Cette rade, pourvue de 1150 mètres de développement de quais, présente 12 mètres de profondeur d'eau, et peut admettre jusqu'à 200 navires de toute grandeur.

L'insuffisance du port actuel de Marseille pour les développements immenses de son commerce extérieur, a fait naître récemment une foule de projets actuellement en examen pour l'établissement de nouveaux bassins entourés de magasins, d'entrepôts de douanes, etc.

Aujourd'hui une partie des quais est occupée par des chantiers de construction, des dépôts de bois flottants, des navires désarmés; et l'on est forcé d'effectuer des transbordements onéreux à l'aide d'alléges dits *chattes* ou *accons*, et dont le grand nombre est une nouvelle cause d'encombrement.

L'administration se propose d'abord : de recreuser jusqu'à 6 mètres en contre-bas du niveau le plus bas de la mer le bassin existant sur toute son étendue; de le rendre abordable tout son pourtour; d'élargir les terre-pleins des quais, et par là de réduire les plus-values considérables de surestaries et de transbordements sur des alléges, qui résultent de l'impossibilité où se trouvent aujourd'hui une foule de navires d'accoster aux quais.

En attendant, on exécute un bassin spécial de carénage dont la passe d'entrée aura

16m,50 de largeur. Ce bassin présentera une surface de 1hect,50 et un développement de quais de 450 mètres.

On trouve la description des projets d'agrandissement du port de Marseille dans les mémoires imprimés de diverses compagnies.

Ceux des deux compagnies Flachat et Zola, qui paraissent avoir le plus de chances de succès, consisteraient : à établir de nouveaux bassins latéralement et au sud du bassin existant, et à les mettre en communication, d'une part avec ce dernier, d'autre part avec la mer, par un grand canal d'environ 2000 mètres de longueur et 22 mètres de largeur minimum. Ce canal, qui traverserait les reliefs les moins élevés de la ville neuve de Marseille, serait orienté du nord-ouest au sud-est à son débouché dans l'anse de la *fausse monnaie;* en sorte que par des vents de terre du nord-est (mistral), un navire pourrait sortir et gagner le large par cette nouvelle passe. On espère aussi que le courant de ce canal, malgré la faible dénivellation de la marée, procurera dans le bassin existant un renouvellement d'eau très-favorable à la salubrité. En effet, ce bassin sert de débouché à la plupart des aqueducs et égouts de la ville qui y déposent une masse croissante de dépôts infects, et rétrécissent à la fois l'espace nécessaire au stationnement des navires.

Les alluvions venant du large, moins abondantes à Marseille qu'à Cette, consistent en vase sablonneuse.

Le port de Cassis, situé sur le littoral des atterrages de Marseille, se compose d'une passe, d'un port proprement dit et d'un arrière-port servant particulièrement à la construction et à la réparation des navires. Port de Cassis. Pl. 106. Fig. 363.

La surface des trois parties réunies est de 3 hectares 65, et présente 260 mètres de quais, non compris ceux des môles. Cent bâtiments d'un tonnage moyen peuvent stationner dans le port; un môle de 300 mètres de longueur, formé en partie par une langue saillante de rochers de 130 mètres de longueur, abrite l'avant-port et la passe contre les vents du sud-est.

Un petit môle de 50 mètres de longueur s'enracine sur le précédent et sert à former l'arrière-port. Le port est sujet à des alluvions qu'on enlève au moyen de pontons à cuillers.

Ce port, qui est à peu près à égale distance de Marseille et de Toulon, est un lieu de relâche et de refuge, précieux même pour les bâtiments de l'État. Il est situé sur la côte ouest de la baie et rade de même nom, et n'était autrefois abrité que partiellement contre les vents régnants du sud-est par un môle de 160 mètres de long. Plus tard, un deuxième môle de 245 mètres de long, parallèle au précédent, mais plus au large, a triplé la surface abritée qui est de 132000 mètres carrés, pouvant contenir 150 navires de 4 à 5 mètres de tirant d'eau. L'ancien môle ne sert plus aujourd'hui que de débarcadère. Port de la Ciotat. Pl. 106. Fig. 363. Pl. 106. Fig. 363

L'entrée actuelle, large de 140 mètres, est entièrement ouverte aux vents d'est qui y déterminent une grande agitation. On projette en ce moment de la resserrer en enraciant un nouveau môle curviligne sur la rive opposée à celle du dernier môle. Cette

construction, fondée sur un écueil sous-marin fort dangereux, aurait 100 mètres de développement, 6 mètres de hauteur et 4 mètres de large au couronnement, et elle abriterait le port de la Ciotat contre les vents de nord-est et d'est; mais ce port resterait toujours exposé aux vents régnants du sud-est.

La marine militaire avait réclamé, en conséquence, que le môle projeté fût prolongé vers le sud; mais l'on a ajourné cette amélioration, qui était dispendieuse par la profondeur de 8 à 9 mètres d'eau à laquelle il aurait fallu fonder ce prolongement. On se bornera, pour amortir l'action des vagues, à établir, au large du nouveau môle projeté, une autre jetée en brise-lame, et à dresser en plans inclinés allongés les revers intérieurs du nouveau môle et de l'ancien qui lui correspond à l'entrée du port.

Les alluvions venant du large sont peu abondantes à la Ciotat et de nature vaseuse; on les enlève par des cure-môles.

Le port de la Ciotat est renommé pour la construction des navires de commerce; il est sorti de ses chantiers des navires de 800 tonneaux.

Port de St-Nazaire. Le port de Saint-Nazaire est situé au fond de la grande et belle rade de Brusq, entre la Ciotat et Toulon. Il est couvert par deux môles.

Pl. 103 Fig. 532. Celui de l'est de 90 mètres de longueur, qui abrite contre les vents d'est et de sud-est, a pour but principal d'arrêter les vases qu'on attribue à l'embouchure de la rivière de Rèpe à 360 mètres de distance à l'est.

Le second môle à l'ouest de 100 mètres de longueur et de 2 mètres 15 au-dessus de la basse mer, sert à défendre le port contre les vents du sud-ouest.

Le moindre intervalle que les deux môles laissent entre eux est de 250 mètres.

Les quais présentent un développement de 560 mètres. Le port creusé pourra contenir 50 bâtiments de 150 à 200 tonneaux.

Les alluvions sont considérables à Saint-Nazaire; on les enlève par des pontons à cuillers auxquels l'on se proposait de substituer une drague à vapeur.

On projetait aussi, pour réduire à 150 mètres le débouché trop considérable de la passe :

1° De prolonger de 20 mètres le môle de l'ouest en le terminant par un musoir arrondi. Le prolongement s'élèverait de 5 mètres au-dessus du niveau de la basse mer. Il serait exécuté vers le large en enrochements avec talus de 3 de base pour un de haut; vers le port, il y aurait un quai.

2° De prolonger aussi le môle de l'est, en établissant ce prolongement sur un massif de béton de 4 mètres de hauteur, au-dessous du niveau de la mer, défendu extérieurement par un enrochement de 2 mètres de largeur au sommet et arasé au niveau de la crête du môle. Cet enrochement serait d'ailleurs étendu sur le pourtour extérieur de l'ancien môle.

Port de commerce de Toulon. Ce port est placé aujourd'hui à côté du port militaire, dans une portion de la vieille darse, et occupe, sur environ 1050 mètres de longueur, les quais de cette darse, qui sont

Pl. 103. Fig. 533. au nord et à l'est et contigus à la ville. Tout ce qu'on a dit sur la position topographique

du port militaire s'applique ici. Il est question d'agrandir le port marchand actuel de Toulon, en lui annexant vers l'est une plage qui le sépare du nouveau chantier du Mourillon dépendant de la marine militaire. Ce nouveau bassin aura 3hect.,60 de superficie et 4 mètres de profondeur d'eau. Un de ses côtés, de 120 mètres de longueur, formera quai de stationnement des bateaux à vapeur et bâtiments de pêche; l'autre, de 165 mètres, servira aux chargement et déchargement des navires.

Le port de Saint-Tropez est situé sur le côté sud du golfe de *Grimaud*, qui lui sert de rade. Il est défendu par un môle de 162 mètres de longueur contre les vents du nord et du nord-est; un second môle de 40 mètres de longueur, qui se termine à 100 mètres de l'extrémité du premier, fixe l'entrée du port et le défend contre le ressac des vagues du sud-est, repoussées du fond de la baie. Port de St-Tropez. Pl. 106. Fig. 366.

Le port reste ouvert aux vents du nord-ouest. Il présente une surface de 4 hectares 80 ares, un développement de 671 mètres de quais et d'embarcadères, trois grils de carénage, un chantier de construction spacieux, d'où sortent jusqu'à des bâtiments de 400 tonneaux.

Le port de Saint-Tropez est sujet à quelques envasements qu'on attribue aux égouts de la ville.

Cette ville, qui a acquis de la célébrité par le débarquement de Napoléon revenant en 1815 de l'île d'Elbe, est située au fond du golfe de Napoul et sur sa rive est, attenante au golfe de Juan. La plage est abritée vers l'est et le sud-est par la pointe de la Croisette et les îles de Saint-Maxent et de Lerins; mais elle est ouverte aux vents compris entre le sud et l'ouest qui soufflent avec une grande violence pendant l'hiver. C'est, après Marseille, le port le plus important de la Provence comme port d'exportation. Pour en faire un port de refuge pour les grands navires du commerce, et même pour ceux de l'État, on projette en ce moment la construction d'un môle de 189 mètres de longueur et 8 de largeur au couronnement dirigé du nord-ouest vers le sud-est, à l'extrémité duquel il y aura 9 mètres d'eau qui se réduiront à 5 mètres à 160 mètres en arrière de cette extrémité. Port de Cannes. Pl. 106. Fig. 366. Pl. 106. Fig. 367.

L'entrée du port avec 120 mètres de débouché et 6 mètres de profondeur d'eau sera ainsi praticable par tous les vents. La sortie seule sera difficile par les vents du sud-ouest, qui sont ceux de la tempête dans le golfe de Napoul.

Le môle doit être, au reste, garanti au large par une digue *tronçonnée* à claire-voie en maçonnerie à pierres sèches formée de blocs de granit de 2 à 3 mètres cubes chacun.

La rade de Cannes est exposée à des alluvions très-abondantes de sable. Les vents du sud-ouest mettent en mouvement et suspendent dans l'eau les sables de la mer et du rivage, et les déposent devant la ville. Lorsque les vents passent au sud, les vagues attaquant les sables qui forment le fond du mouillage et les poussent vers l'est. Ces deux effets d'accumulation et d'enlèvement des sables se reproduisent presque alternativement lorsque le vent faiblit, mais en persistant dans les mêmes directions. Le port de Cannes

dans son état actuel pouvait donc craindre, tantôt d'être envahi par la mer et tantôt d'être comblé par les sables. L'on espère que les ouvrages projetés préviendront l'un et l'autre résultat.

Port d'Antibes.

Pl. 106. Fig. 366.

Pl. 106. Fig. 368.

Antibes, placé sur les confins de la Provence et de la principauté de Monaco, est situé dans le rentrant est du cap qui termine le golfe de Lyon à l'est, et sur une côte dirigée dn sud-ouest au nord-est. L'entrée de la rsde d'Antibes, de 220 mètres de largeur, est onverte aux vents du nord-est.

A droite, en regardant la mer, est un môle de 469 mètres de développement, faisant front au nord-est, et qui forme en même temps une des parois du port; celui-ci est placé ainsi à gsuche de l'entrée de la rade. Son ouverture, de 170 mètres de largeur, est dirigée au nord-ouest, et est limitée à l'ouest par un autre môle de 154 mètres de longueur, bien moins saillsnt dans la rade que le premior, vers lequel il converge légèrement.

Le port d'Antibes ne présente, su reste, qu'une surface sbritée d'environ 42000 mètres carrés et 624 mètres de développement de qusis; il peut contenir 100 nsvires d'un tonnage moyen.

L'agitation de la mer y est assez grande par les vents compris entre le nord-est et le sud-est; les alluvions y sont sablonneuses, msis peu abondantes (1).

Ports de l'île de Corse.

Pl 106. Fig. 369.

L'île de Corse est dirigée à peu près du sud au nord.

Au sud, elle est séparée de la Sardaigne par le détroit dit Bonches-de-Bonifacio.

Au nord, elle se prolonge dans la mer par le cap Corse, qui forme nne ssillie de six lieues environ sur deux lieues de large.

Ports de la côte est en remontant du sud au nord.

En considérant d'abord la côte est tournée vers l'Italie, et en partant du sud vers le nord, on rencontre les ports suivants :

Port de Porto-Vecchio.

*Porto-Vecchio*, vaste golfe de 3000 mètres de longueur sur autant de largeur, où il y a depuis 5 mètres jusqu'à 24 mètres de profondeur d'eau, et qui n'est ouvert qu'sux vents du nord-est. C'est un lieu de rassemblement pour les grandes expéditions navales.

De Porto-Vecchio jusqu'à Bastia, la côte est, sur une étendue de plns de vingt-six lieues, n'offre qne quelques anses, et les embouchures marécageuses des rivières torrentielles du Travo, du Fiumorbo, du Fioraventi, du Tavignsno, dn Bravone, de l'Alistro, de l'Alisatti, du Fiumalto et du Golo.

Port de Bastia.

*Bastia* est à l'origine sud du cap Corse, non loin de l'entrée d'un petit golfe qui s'enfonce dans les terres dsns la direction du nord au sud.

Le port, de 250 mètres de longueur snr environ 150 mètres de lsrgeur, est au fond d'une crique ouverte aux vents compris entre le nord-est et le snd, en psssant par l'est. Cette exposition y détermine une grande agitation, à laqnelle on s cherché à remédier

(1) On n's parlé, dans cette description sommaire, ni du port d'Agde, à l'embouchure de l'Héranlt, que des curages continuels ont peine à préserver du comblement par les sables; ni de celui d'Aigues-Mortes, accessible dn temps des croisades et aujonrd'hui très-éloigné de la mer; ni de celui de Fréjns, qui n'existe plus que de nom.

par un môle saillant en forme de chevron très-ouvert d'environ 164 mètres de longueur faisant face aux vents de nord-est, et qui a rétréci la passe à 80 mètres d'ouverture.

Le port de Bastia, peu snjet aux atterrissements, pent contenir 50 navires d'un tonnage ordinaire.

On vient d'allonger les débarcadères existants, et l'on se proposait de construire une cale de radoub et 200 mètres de quais nouveaux.

Port de Porticiollo.

*Porticiollo* est au milieu du flanc est du cap Corse, et dans une petite anse qui ne peut réunir aujourd'hui que 8 à 10 bâtiments, mais qui en admettra 25 à 30 quand elle sera abritée contre les vents du nord par un môle de 90 mètres de longueur, aujourd'hui en construction. Porticiollo est peu sujet aux atterrissements.

Port de Macinaggio.

*Macinaggio* est vers l'extrémité nord du flanc est du cap Corse dans l'anse de Coscia. Il est abrité par deux môles : l'un, de 80 mètres de longueur, le défend contre les vents du nord. Le port, envahi par les alluvions, qui ne peut réunir aujourd'hui qne 12 à 16 navires, en admettra une trentaine lorsqu'on l'aura creusé à l'aide de pontons à cuillers.

Ports de la côte ouest en redescendant du nord vers le sud.

En considérant le côté ouest de la Corse tourné vers la France, et redescendant du cap Corse au nord, vers les bouches de Bonifacio au sud, on rencontre un grand nombre de ports.

Port de Centuri. Pl. 106. Fig. 569.

Le port de Centuri est vers l'extrémité nord du cap Corse dans une petite anse peu sujette aux atterrissements, qui recevra 16 à 20 navires quand elle sera abritée contre les vents d'ouest par un môle de 43 mètres de longueur, actuellement en exécution.

Port de St-Florent.

Le port de Saint-Florent est au fond d'un vaste golfe qui, par sa profondeur d'eau et son étendue, pourrait recevoir des flottes de bâtiments de guerre. Ce golfe n'est ouvert qu'aux vents de nord-ouest.

On projette la construction d'un môle et d'un quai.

Port de l'Ile-Rousse.

La ville de l'Ile-Rousse compte à peine 60 ans d'existence, et est devenue l'un des centres principaux du commerce de la Corse. Elle est située dans l'ancienne Balagne, surnommée le Jardin de la Corse, et à 50 lieues seulement des côtes de France.

Le port de l'Ile-Rousse est situé entre la ville et l'île de ce nom, qui forme un môle naturel contre les vents du nord ; mais le canal, du reste peu exposé aux atterrissements, reste entièrement ouvert aux vents de nord-est et d'est. L'on a projeté, en conséquence, un môle d'abri de 100 mètres de développement rattaché à la pointe de l'île de *la Pietra*, et dirigé du nord au sud-est.

Port de Calvi.

Le port de Calvi est situé sur le flanc ouest d'un golfe assez étendu, qui n'est ouvert qu'aux vents du nord. Ce port, peu sujet aux alluvions, pourrait contenir 90 bâtiments.

On y projette la construction de quais de débarquement.

Galeria, Girolata, Porto, Carghèse sont de petites anses situées sur les côtes, au fond des golfes du même nom, lesquels se succèdent dans le littoral nord de la côte ouest de la Corse. On se propose d'y établir des débarcadères.

Port de Sagone.

Le port de *Sagone* est situé dans une anse de 1000 mètres de longueur sur autant de

largeur, dans la région nord-est du vaste golfe de Sagone, qui n'est onvert qu'aux vents soufflant depuis le nord-ouest jusqu'au sud-ouest en passant par l'ouest.

On y devait aussi construire des débarcadères.

Port d'Ajaccio. Le port d'Ajaccio est situé sur le flanc nord de la magnifique baie du même nom, laquelle ayant 4000 mètres d'ouverture et 3000 mètres de renfoncement, et depuis 30 mètres jusqu'à 80 mètres de profondeur d'eau, peut être considérée elle-même comme un vaste port pour les armées navales. Malheureusement la rade et le port d'Ajaccio sont très-exposés aux vents du sud-ouest.

On projette un môle d'abri pour le mouillage de Canues contre les vents dn sud à l'onest, et le prolongement des quais existants sur près de 1000 mètres de longuenr entre Ajaccio et le mouillage précité.

Port de Propriano. Le port de Propriano est dans la région sud-ouest de la Corse, au fond du golfe de *Valinco*. Ce port, comme le golfe, est ouvert aux vents d'ouest; et l'on exécute pour l'abriter un môle de 100 mètres de longueur.

Depuis Propriano jusqu'à Bonifacio au sud de l'île, la côte qui se dirige du nord-ouest au sud-est ne présente que des falaises élevées et quelques criques où débouchent des ruisseaux torrentiels.

Port de Bonifacio. Le port de Bonifacio présente jusqu'à 20 à 30 mètres de profondenr d'eau à uno certaine distance du môle actuel ; mais il se comble au fond, et l'on se proposait d'y opérer des dragages.

Une cure-môle à vapenr parcourra successivement les ports de la Corse sujets aux atterrissements et les désobstruera des bancs de sable qui se sont formés particulièrement à l'embouchure de divers cours d'eau, et qui ont contribué sur beaucoup de points au développement de marais pestilentiels.

Il serait utile, pour les lecteurs, de joindre aux documents sommaires qu'on vient de donner sur les ports français ceux qui ont été publiés dans les *Annales maritimes et coloniales* sur les ports des colonies françaises ;

Dans les voyages de M. le baron Charles Dupin, sur les ports de la Grande-Bretagne ;

Par divers auteurs français et étrangers, sur les ports de la Baltique ; sur ceux d'Espagne et de Portugal, sur ceux de Gênes et Venise, Trieste et Constantinople, sur le nouveau port d'Alexandrie en Égypte, élevé par M. de Serisy, ingénieur français, enfin sur les ports des deux Amériques septentrionale et méridionale.

Pl. 107 à 112. Fig. 570. On trouvera dans les figures 570 des planches les plans généraux des ports étrangers d'Anvers, de Flessingue, de Rotterdam, de Nieuwendip, d'Helvoetsluys, de Hambourg, de Londres, Liverpool, Hull, Bristol, de Gênes, la Spezzia, Livourne, Ancône, Venise et Trieste, et autres ports étrangers.

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE-QUATRIÈME LEÇON.

### DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTIONS DANS LEUR APPLICATION AUX OUVRAGES A LA MER.

---

*Des enrochements et ouvrages en pierres perdues.*

L'emploi d'amas de pierres et de blocs d'un poids plus ou moins considérahle ponr se défendre contre les irruptions de la mer et ponr s'abriter contre les tempêtes, remonte à la plus hante antiquité et a dû précéder l'extension du même moyen aux fondations artificielles d'ouvrages s'élevant au-dessus des eaux. C'est encore anjourd'hui l'unique moyen de défense des petits havres où so réfugient les pêcheurs des côtes, lorsque à proximité il existe des carrières ou des pierres éparses rapportées par la mer elle-même. Toutefois, ce moyen, le plus simple de tous, force d'entasser un volume considérable de matériaux en quelque sorte *improductifs* sous le rapport de la résistance. Il exige de plus, à raison des talus extérieurs que prennent les amas de hlocs, une surface d'assiette considérable ; enfin, il élève des espèces d'écueils en avant des enceintes qu'on vent ahriter ou garantir.

Il a été reconnu, d'ailleurs, à la digue de Cherbourg, que ce système pour *la hauteur entre les niveaux des basses et hautes mers* eût été plus dispendieux que celui d'une muraille en maçonnerie. Mais à côté de ces inconvénients est un avantage essentiel dans beancoup de cas, c'est l'espèce d'indestructibilité des digues en enrochements par le jeu des mines, en cas d'attaques de l'ennemi.

On a vu, dans la vingtième leçon, que sur les fleuves et rivières les plus rapides, des pierres de $0^{m.c.}$,216, pesant environ 400 kilog. *hors de l'eau*, avaient nne stabilité suffisante.

A la mer, la grosseur et le poids nécessaires aux matériaux d'enrochement dépendent de la profondeur de leur immersion et de l'agitation de la mer dans les divers atterrages. Ainsi les galets des côtes de la haute Normandie, qui pèsent environ 15 à 20 kilog., sont ronlés par les vagues et les conrants, et réduits enfin à l'état de gravier et de sable.

A la digue de Cherbonrg, ainsi qu'il a été déjà dit, les petites pierres dont le volume réduit était de $0^{m.c.}$,007, et le poids de 16 kilogrammes *hors de l'eau*, n'avaient pu acquérir de stabilité à 5 mètres d'immersion en contre-bas des basses mers, qu'après avoir été *dressées par la mer elle-même*, sur nn talus de près de 10 de base pour 1 de hauteur. Digue de Cherbourg. Pl. 112. Fig. 571.

Des blocs de 15 à 20 pieds cubes ($0^{m.c.}$,51 à $0^{m.c.}$,68), pesant, *hors de l'eau*, de 1170 kil à 1560 kil., immergés dans les zones les plus *voisines en contre-bas* du niveau des basses-mers, avaient éprouvé à cette digue des dérangements notables, et l'on n'avait obtenu de stabilité *dans ces mêmes zones*, et dans le travail nommé *digue d'épreuve*, que par des blocs de 20 à 25 pieds cubes ($0^{m.c.}$,68 à $0^{m.c.}$,81), pesant, *hors de l'eau*, 1560 à 1680 kilogrammes.

Des pierres brutes pesant 6500 et 9000 kilogrammes hors de l'eau, immergées *au-dessus* du niveau des basses-mers et rapprochées du couronnement de la digue, ont été enlevées à l'extérieur de cet ouvrage et rejetées vers l'intérieur; enfin des blocs de 20 à 25 mètres cubes ont pu seuls y résister au *maximum* d'intensité des vagues. (Voir à l'appendice de la deuxième section, le précis historique de la digue de Cherbourg.)

Jetée du Becquet. A la jetée du port de Becquet, dans la rade de Cherbourg, des pierres de $0^{m.c.}$,55 à $0^{m.c.}$,61, pesant, *hors de l'eau*, 1260 à 1400 kilogrammes, ont été enlevées et projetées par les vagues contre l'estacade qu'elles devaient défendre.

Saint-Jean-de-Luz. A Saint-Jean-de-Luz, des blocs de 1 mètre cube et $1^{m.c.}$,50, pesant de 2400 à 4000 kil., ont été soulevés et projetés à plus de 6 mètres de hauteur.

Môle de Cette. Au nouveau brise-lame isolé du port de Cette dans la Méditerranée, on emploie du côté du large, et en contre-bas du niveau des hautes mers, des pierres de ½ à 1 mètre cube sur un talus de 8 mètres de base pour un de hauteur.

Môle d'Alger. Au môle d'Alger, des blocs de 3 mètres cubes, pesant 7000 kil. *hors de l'eau*, n'avaient point une stabilité suffisante, et les blocs factices de béton employés par M. l'ingénieur Poirel (voir *Annales des ponts et chaussées* de 1838) avaient 10 à 12 mètres cubes, et pesaient de 22000 à 26000 kil. *hors de l'eau*.

Breakwater de Plymouth. Au breakwater de Plymouth, en Angleterre, depuis l'origine des travaux en 1812 jusqu'en 1816, le poids total des matériaux entassés était de 1011803 kil. et se décomposait comme suit (1) :

Pierres pesant moins d'un tonneau marin (1000 kilogrammes) hors

| | | |
|---|---|---|
| de l'eau . . . . . . . . . . . | 428904 | kilogrammes. |
| de 1 à 3 tonneaux. . . . . . . | 309706 | » |
| de 4 à 5 tonneaux. . . . . . . | 150593 | » |
| de 5 tonneaux et au-dessus. . . . | 127600 | » |

Bien que ces matériaux eussent été disposés vers le large en plan de 3 de base pour 1 de haut entre les niveaux des basses et hautes mers, cependant des blocs du poids de 2 à 5 tonneaux placés dans le voisinage du couronnement avaient été soulevés et jetés vers l'intérieur par-dessus la crête de ce brise-lame.

(1) *Nota.* La quantité totale de matériaux versés au breakwater de Plymouth pour une longueur totale de 1530 mètres et une profondeur moyenne, à basse mer, de $12^m$,60, et aux plus hautes mers de 1812, a été, de 1830 à la fin de 1837, de 1307690 kil.

Sa largeur, qui n'avait été projetée qu'à 9m,80 au sommet et 50 mètres à la base, est portée maintenant à 13m,75 au sommet et 120 mèt. à la base. Une risberme de 20 mèt. a été établie du côté du large au niveau des basses mers. Les talus vers le large qui s'élèvent à partir de cette risberme jusqu'au couronnement, et ce couronnement lui-même, sont exécutés aujourd'hui en blocs d'une dimension colossale, posés en boutisses, normalement aux parements appareillés avec le plus grand soin et liés par des plâtres-ciments de la plus grande énergie. Pl. 112. Fig. 572.

Au breakwater de la Delaware aux États-Unis, la répartition des blocs était combinée comme suit : Breakwater de la Delaware.

Les blocs du poids *hors de l'eau* de 255 kil. à 3000 kil., dont trois quarts en blocs de 2000 kil., et tous ceux de 3000 kil., pour le revêtement extérieur, étaient destinés aux zones vers le large comprises entre le fond de la mer jusqu'à la cote 1m,83 au-dessous des plus basses mers d'équinoxe. Ces matériaux devaient être disposés sur deux talus, celui inférieur de 5 mètres de base sur 4 de hauteur, qui est le talus naturel; celui supérieur de 3 de base sur 1 de hauteur.

Les blocs de 500 à 3000 kil., dont trois quarts du poids de 1500 à 2500 kil., et tous ceux de 3000 pour recouvrement vers le large, étaient destinés aux zones comprises entre la cote ci-dessus et le niveau des plus basses mers, les talus étant de 3 de base pour 1 de hauteur.

Les blocs de 1000 à 4000 kil., dont trois quarts de 2000 à 3000 kil., et tous les blocs de 3000 à 4000 pour recouvrement vers le large, étaient destinés aux zones comprises entre les plus basses et les plus hautes mers d'équinoxe *calmes*, et dressés sur talus de 11 de base pour 2 de hauteur.

Enfin des blocs de 4000 à 5000 kil. rangés le plus régulièrement possible, posés en boutisses, étaient destinés aux zones au-dessus des hautes mers d'équinoxe.

Les citations qu'on vient de faire ne tendent pas à faire appliquer en général aux enrochements à la mer les dimensions et poids des matériaux ci-relatés, mais seulement à prémunir contre l'emploi des pierres de trop petit échantillon, et à provoquer dans chaque localité des recherches sur les dimensions et poids des matériaux que requièrent les plus grands efforts des vagues dans les tempêtes. Mode d'exécution des enrochements.

Dans la construction des enrochements, on doit réserver évidemment les plus gros matériaux pour les recouvrements, et les immerger de manière qu'ils soient enracinés en boutisse dans le massif général. Dans la marche du travail, on aura à se garantir contre deux effets de l'action oblique des vagues : le premier est celui de *remonte* des matériaux des zones inférieures vers les zones supérieures ; le second est celui du cheminement longitudinal. A la digue de Cherbourg, on enceignait les portions d'enrochements à élever par des cordons de gros blocs qui formaient ainsi des espèces de compartiments pour les matériaux de moindre échantillon. Au breakwater de la Delawarre, on avait commencé les travaux par l'extrémité ouest, afin d'arrêter par un premier massif l'effet des lames du nord-ouest sur les travaux ultérieurs poussés de l'ouest vers l'est.

## DIGUE DE

*Tableau indiquant les tassements qui s'opèrent sur les*

| DATES des nivellements. | Maçonnerie de 97 mètres de longueur, élevée en 1833, sur 10 mètres d'épaisseur. | | | | Maçonnerie de 150 mètres de longueur, élevée en 1834, sur 10 mètres d'épaisseur. | | | | | | | | Maçonnerie de 150 mètres de longueur, élevée en 1835, sur 10 mètres d'épaisseur. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Côté nord de la muraille. | | | | Côté sud de la muraille. | | | | Côté nord de la muraille. | | | | Côté sud de la muraille. | | | |
| | Côtés nord et sud, extrémité ouest. | Tassements successifs. | Côtés nord et sud, extrémité est. | Tassements successifs. | Extrémité ouest. | Tassements successifs. | Extrémité est. | Tassements successifs. | Extrémité ouest. | Tassements successifs. | Extrémité est. | Tassements successifs. | A 15 mètres de l'extrémité ouest. | Tassements successifs. | A l'extrémité est. | Tassements successifs. | A 15 mètres de l'extrémité ouest. | Tassements successifs. | A l'extrémité est. | Tassements successifs. |
| | m. 0,0 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | | | | | | | | |
| | | m. 0,191 | | m. 0,037 | | m. 0,000 | | m 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | | | | | | | |
| Le 2 avril 1834. | 0,191 | | 0,037 | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | |
| | | 0,062 | | 0,342 | | 0,162 | | 0,232 | | 0,162 | | 0,295 | | | | | | | | |
| Le 10 octobre 1834. | 0,253 | | 0,379 | | 0,162 | | 0,232 | | 0,162 | | 0,295 | | » | | » | | » | | » | |
| | | 0,102 | | 0,186 | | 0,203 | | 0,193 | | 0,156 | | 0,180 | | | | | | | | |
| Le 30 mars 1835. | 0,355 | | 0,565 | | 0,365 | | 0,425 | | 0,318 | | 0,475 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | |
| | | 0,003 | | 0,025 | | 0,135 | | 0,324 | | 0,204 | | 0,446 | | m. 0,237 | | m. 0,161 | | m. 0,559 | | m. 0,370 |
| Le 5 décembre 1835. | 0,358 | | 0,590 | | 0,500 | | 0,749 | | 0,522 | | 0,921 | | 0,237 | | 0,161 | | 0,339 | | 0,376 | |
| | | 0,025 | | 0,030 | | 0,047 | | 0,012 | | 0,042 | | 0,127 | | 0,017 | | 0,005 | | 0,010 | | 0,004 |
| Le 24 déc 1835 (après la tempête du 20). | 0,383 | | 0,620 | | 0,347 | | 0,761 | | 0,364 | | 1,048 | | 0,234 | | 0,166 | | 0,369 | | 0,380 | |
| | | 0,039 | | 0,040 | | 0,040 | | 0,151 | | 0,016 | | 0,039 | | 0,196 | | 0,196 | | 0,039 | | 0,366 |
| Le 19 déc. 1836. | n. 0,422<br>s. 0,323 | | n. 0,660<br>s. 0,536 | | 0,587 | | 0,912 | | 0,580 | | 1,087 | | 0,450 | | 0,362 | | 0,608 | | 0,746 | |
| | | 0,019 | | 0,047 | | 0,047 | | 0,094 | | 0,024 | | 0,064 | | 0,049 | | 0,088 | | 0,064 | | 0,047 |
| Le 2 janv. 1837 (après la temp. du 25 déc.) | 0,441 | | 0,707 | | 0,634 | | 1,006 | | 0,604 | | 1,151 | | 0,499 | | 0,450 | | 0,672 | | 0,793 | |
| | | 0,055 | | 0,021 | | 0,021 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,038 | | 0,000 | | 0,053 |
| Le 1er déc. 1837. | 0,496 | | 0,728 | | 0,655 | | 1,006 | | 0,604 | | 1,151 | | 0,499 | | 0,488 | | 0,672 | | 0,846 | |
| | | 0,016 | | 0,000 | | 0,010 | | 0,016 | | 0,000 | | 0,019 | | 0,016 | | 0,000 | | 0,003 | | 0,000 |
| Le 4 avril 1838. | 0,512 | | 0,728 | | 0,665 | | 1,022 | | 0,604 | | 1,170 | | 0,515 | | 0,488 | | 0,675 | | 0,846 | |
| | | 0,004 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,003 | | 0,003 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 | | 0,000 |
| Le 16 août 1838. | 0,516 | | 0,728 | | 0,665 | | 1,022 | | 0,607 | | 1,173 | | 0,515 | | 0,488 | | 0,675 | | 0,846 | |
| Id. Hauteur totale au-dessus de zéro du couronnement des maçonneries. | m. 7,832 | | m. 7,828 | | m. 7,828 | | m. 7,485 | | m. 7,692 | | m. 7,197 | | m. 7,485 | | m. 7,464 | | m. 7,197 | | m. 6,989 | |

*Nota.* Le point de repère est placé sur le massif en maçonnerie du fort elliptique. Sur le parement vertical d'une assise de l'est, on a tracé une ligne horizontale à la hauteur de 7 mètres au-dessus du point 0

**Tassements des enrochements.** Bélidor conseille, quand les côtes sont abondantes en coquillages, d'en répandre dans le corps des enrochements, parce qu'ils s'y multiplieront au point de ne plus laisser de vides.

Les enrochements éprouvent des tassements considérables qui se prolongent pendant un temps assez long; aussi il importe que les enrochements présentent, dans toutes les zones d'un même ouvrage, une composition semblable de fragments de diverses grosseurs et qu'ils soient du même âge. Bélidor cite, à ce sujet, des batteries établies sur les jetées de la darse neuve de Toulon, qui, par l'effet des tassements généraux, s'étaient enfoncées jusqu'au niveau de l'eau. Les enrochements éprouvent d'ailleurs de nouveaux tassements quand on les recharge ou lorsqu'ils sont exposés à de fortes tempêtes. La

**CHERBOURG.**

*différentes parties de maçonnerie exécutées sur la branche de l'est.*

| Maçonnerie de 230 mètres de longueur, élevée en 1836, sur 10 mètres d'épaisseur. | | | | | | | | | | | | | | | | Maçonnerie de 150 mètres de longueur, élevée en 1837, sur 10 mètres d'épaisseur. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Côté nord de la muraille. | | | | | | | | Côté sud de la muraille. | | | | | | | | Côté nord de la muraille. | | | | Côté sud de la muraille. | | | |
| A 80 mètres de l'extrémité ouest. | Tassements successifs. | A 141 mètres vers l'est. | Tassements successifs. | A 120 mètres vers l'est. | Tassements successifs. | A l'extrémité est. | Tassements successifs. | A 80 mètres de l'extrémité ouest. | Tassements successifs. | A 141 mètres vers l'est. | Tassements successifs. | A 200 mètres vers l'est. | Tassements successifs. | A l'extrémité est. | Tassements successifs. | A 50 mètres de l'extrémité ouest. | Tassements successifs. | A 150 mètres vers l'est. | Tassements successifs. | A 50 mètres de l'extrémité ouest. | Tassements successifs. | A 150 mètres vers l'est. | Tassements successifs. |
| » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | |
| » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | |
| » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | |
| » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | | » | |
| m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | m. 0,060 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | » | | » | | » | | » | | » | |
| | m. 0,110 | | m. 0,250 | | m. 0,162 | | | | m. 0,160 | | m. 0,300 | | m. 0,50 | | | | | | | | | | |
| 0,110 | | 0,250 | | 0,162 | | » | | 0,160 | | 0,300 | | 0,500 | | » | | » | | » | | · | | » | |
| | 0,088 | | 0,000 | | 0,050 | | m. 0,321 | | 0,110 | | 0,030 | | 0,10 | | | | | | | | | | |
| 0,198 | | 0,250 | | 0,252 | | » | | 0,270 | | » | | 0,600 | | m. 0,000 | | m. 0,000 | | » | | » | | » | |
| | 0,002 | | 0,036 | | 0,090 | | | | 0,060 | | | | 0,050 | | m. 0,817 | | m. 0,221 | | | | | | |
| 0,200 | | 0,286 | | 0,342 | | 0,321 | | 0,330 | | 0,350 | | 0,650 | | 0,817 | | 0,221 | | m. 0,181 | | m. 0,434 | | m. 0,141 | |
| » | 0,000 | » | 0,003 | » | | » | 0,000 | » | 0,010 | » | 0,005 | » | | » | 0,011 | » | | » | | » | | » | |
| 0,200 | | 0,289 | | » | | 0,321 | | 0,340 | | 0,335 | | » | | 0,828 | | » | | » | | » | | » | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | à l'ext. ouest. | | à 150 métr. | | à l'ext. ouest. | | à 150 métr. | |
| m. 7,464 | | m. 7,495 | | m. 7,531 | | m. 7,495 | | m. 6,989 | | m. 7,243 | | m. 7,33 | | m. 7,111 | | m. 7,495 | | m. 7,663 | | m. 7,111 | | m. 7,262 | |

de l'hydromètre du port militaire. La retraite ou le lit supérieur de cette assise est à 7m,13 au-dessus du même point.

muraille en maçonnerie, en exécution à la digue de Cherbourg sur 7m,50 de hauteur, s'affaisse moyennement de 0m,50 par suite de l'affaissement des enrochements de 9 à 15 mètres de hauteur moyenne qui lui servent de base. Ce tassement, très-rapide dans la première année, diminue progressivement dans les deuxième et troisième années, devient insensible après la quatrième. On s'en rendra facilement compte en considérant qu'à cette même digue l'expérience a prouvé que 1 mètre cube de petits blocs correspondait en *volume de digue* à 1m.c.,50; et 1 mètre cube de gros blocs, à 1m ,66 de *volume de digue*.

Aussi, avant d'y entreprendre les maçonneries du fort central, on avait soumis à une charge d'épreuve de 23000000 de kil. le massif d'enrochements et une plate-forme de

maçonnerie de 70 mètres de longueur, 40 mètres de largeur et 10 mètres d'épaisseur, qui lui avait été superposée. Sur la branche de l'est de ce grand ouvrage, les enrochements remontent à 1786, époque de l'immersion à grands intervalles des premiers cônes. Les débris de ces cônes, entre lesquels de nouveaux versements avaient eu lieu postérieurement, offrent aujourd'hui plus de résistance que les zones intercalaires. Celles-ci elles-mêmes avaient été formées successivement et par intermittences dans un intervalle de temps de plus de trente ans, de manière que dans le même profil transversal, du nord au sud, les enrochements d'une hauteur moyenne étaient de différents âges et compositions. De là, des tassements inégaux dans l'exécution de la muraille supérieure en maçonnerie. Le tableau ci-dessus en relate les principaux chiffres relativement à un repère fixe.

Il est résulté de ces inégalités de tassements dans les deux sens longitudinaux et transversaux, que les parements longitudinaux au nord et au sud de la muraille en maçonnerie présentent des courbures et des jarrets assez prononcés dont le maximum est de 0$^{m}$,43 de flèche pour 220 mètres de corde ; que des lits horizontaux de l'appareil sont ondulés de 0$^{m}$,60 sur 4 mètres de corde, et que les talus primitifs des parements sont devenus plus abrupts dans certains joints et moins roides dans d'autres. Les lézardes transversales et longitudinales, déterminées par les tassements dans le massif, ont donné lieu à des reprises de maçonnerie, à des injections ou coulis de mortier. L'on a pourvu aux dépressions des assises inférieures par des appareils à crossettes et par des modifications progressives dans la hauteur des assises supérieures des pierres de parement. Enfin on a ajourné à quelques années l'exécution des deux dernières assises supérieures et celle du parapet, afin de pouvoir rétablir des alignements rectilignes, des lits horizontaux et des talus uniformes dans la partie constamment apparente de la muraille. Du reste, les défectuosités *inévitables* des parties inférieures n'ont pas eu une influence sensible sur la résistance de la muraille, car les portions de sa longueur qui ont cessé de tasser ont soutenu l'épreuve des plus fortes tempêtes.

Blocs factices. La difficulté de trouver, d'exploiter et d'enlever des pierres de grande dimension a fait recourir à des blocs factices en béton. Bélidor en fait mention dans son *Architecture hydraulique* (t. 4, pag. 178 et suiv.); M. Icard, ingénieur, avait proposé d'élever la digue de Cherbourg avec des blocs de ce genre, de 7$^{mc}$,4, pesant 16280 kil. *hors de l'eau ;* M. le colonel Emy avait imaginé de composer de la même manière des prismes hexagonaux cubant 32 mètres cubes, et pesant environ 70000 kil. hors de l'eau; mais il supposait, ce qui est douteux, que ces blocs pourraient être arrimés régulièrement les uns au-dessus des autres. Ces prismes, dans les côtes sujettes aux marées, auraient été
Pl. 112. Fig. 373. moulés sur un chantier que la mer aurait découvert de 5 mètres ; puis, à marée montante, ils auraient été soulevés par un grand tonneau vide et remorqués avec lui au lieu de versement, et là, immergés par l'introduction de l'eau dans le tonneau. Ce flotteur eût servi ainsi au transport d'un grand nombre de prismes.

M. l'ingénieur Poirel, pour les grosses réparations du môle d'Alger, a fait confec-

tionner des blocs factices de béton, depuis 10 mètres jusqu'à 28 mètres cubes sur la plage même où ils devaient être coulés. Le mètre cube de ces blocs, pour confection et échouage, était ressorti à 37 francs, dont 36 francs se rapportaient au béton proprement dit.

. On cite d'abord, quant aux moyens d'exploitation et de transport par terre des blocs aux lieux d'embarquement et aux moyens de transport par mer et d'immersion, les pontons décrits par Bélidor (t. IV, p. 170 de l'*Architecture hydraulique*) ; l'inspection des figures 575 des planches suffira pour faire comprendre leur installation. Pl. 113. Fig. 575.

A Cherbourg, les blocs et moellons de grès sont transportés par des triqueballes ou des binards et des tombereaux, depuis les carrières jusqu'à deux grues placées à l'origine d'un chemin de fer. Ce chemin à tracé curviligne, établi par M. l'ingénieur Virla, sert à conduire sur des waggons les blocs depuis les grues précitées jusqu'au fond du bassin de flot du port de commerce de Cherbourg, où, à l'aide d'un appontement fixe et d'un treuil mobile à chariot, on dépose les blocs sur des bâtiments du port d'environ 60 tonneaux qui les transportent à la digue.

On a construit en 1834 et en 1835, dans le port militaire de Cherbourg, sur les plans de M. l'officier du génie maritime Daviel, un ponton d'essai, ingénieusement disposé pour le transport et le versement des gros blocs; il devait être remorqué à la digue par un bateau à vapeur de la force d'environ 50 chevaux. On supposait que ce ponton pourrait transporter et verser, dans chaque voyage, 150 mètres cubes de moellons contenus dans des caisses à roulettes, ou 180 gros blocs portés sur de petits chariots. Pl. 113. Fig. 576.

Le versement du chargement arrimé sur le pont et à fond de cale devait être opéré en moins d'une heure, au moyen de bascules disposées tout autour du bord et jouissant d'un double mouvement : l'un pour opérer le versement, l'autre pour faire glisser dans la cale les caisses et les chariots vides.

Ce ponton a fait en été quelques voyages à la digue ; mais l'autorité maritime a craint que, sortant dans des temps ordinaires, il n'éprouvât des avaries graves et ne fût exposé à couler dans la rade, à raison des variations *brusques* et fréquentes qu'éprouvent le climat de Cherbourg et la direction du vent dans la rade. D'ailleurs les bateaux à vapeur dont on pouvait disposer étaient trop faibles pour lutter, dans la remorque du bateau, contre des vents contraires et un peu énergiques.

On a donc eu recours, comme autrefois, pour les transports des blocs et moellons, aux bateaux allant à la voile ; mais les matériaux à verser ne devant s'élever les uns qu'au niveau des basses mers de mortes eaux, les autres qu'au niveau des basses mers de vive eau, les versements se font par bâtiments à haute mer presque verticalement sur les emplacements indiqués. Ce sont les mâts et gréements des navires eux-mêmes qui élèvent les blocs et les jettent à la mer; des bouées placées sur deux rangs, à l'intérieur et à l'extérieur de la digue, servent à guider et à tenir les bâtiments dans l'opération du déchargement.

Lorsque, sous le régime impérial, on tentait l'exécution en enrochement des parties

de la digue *supérieure au niveau des basses mers*, les bâtiments à la voile manquaient souvent d'eau dans les mortes eaux, pour faire les versements aux lieux indiqués. Alors on était forcé de jeter les blocs nouveaux sur la plage déjà enrochée, de les remonter à leur emplacement définitif à grands frais et par-dessus les aspérités des blocs antérieurement versés. Même quand le vent s'opposait à ce que les bateaux échouassent sur la rive extérieure *au nord* de la digue où les enrochements étaient en exécution, on opérait le déchargement sur la rive intérieure *sud*, et les blocs étaient non-seulement remontés, mais il fallait de plus leur faire passer la crête de l'ouvrage et les faire redescendre au nord.

Pl. 113. Fig. 577. L'opération du remontage s'effectuait à l'aide d'appareils amovibles de mâts et de bigues installés sur la crête supérieure des ouvrages déjà faits.

L'on payait par mètre cube et par tonneau de blocs ainsi remontés sur la rive nord, y compris les dépenses de bigues et de gréements, le prix de 5 fr. à 2 fr. 50 c., et pour le double travail de remontage sur une rive et de descente sur l'autre, 7 fr. 50 c. et 4 fr. 75 c.

M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Dutens, dans son mémoire sur les travaux publics d'Angleterre ; M. le baron Charles Dupin, dans ses *Voyages en Grande-Bretagne*, ont décrit les bâtiments qui avaient été spécialement construits pour le transport d'une partie des blocs du breakwater de Plymouth et qui fonctionnaient concurremment avec des bateaux ordinaires à la voile. On a emprunté à ces deux ouvrages les détails suivants :

Les blocs étaient placés aux carrières sur des chariots plats et roulés sur des chemins de fer jusqu'aux quais, auxquels les bâtiments présentaient leur poupe.

Les chariots entraient par les *sabords d'arrière* et descendaient par un plan incliné dans le *fond de la cale* qui était disposée pour recevoir huit de ces chariots pesant
Pl. 113. Fig. 578. environ 5 tonneaux chacun. Quand le bâtiment était rendu au lieu d'immersion près du breakwater, les chariots étaient remontés par le plan incliné deux à deux par une grue établie sur le pont des navires, puis ils étaient placés sur un tablier à charnières mobiles ; on faisait tomber le tablier comme une trappe ; les blocs roulaient alors sur le glacis du breakwater. Les chariots vides étaient ramenés par la même grue sur le bord du pont, pour faire place à une seconde paire. De cette manière, un chargement de 80 tonneaux ne prenait que 40 à 50 minutes. Les points d'immersion des blocs étaient d'ailleurs indiqués par des fanaux et des jalons montés sur les enrochements déjà faits.

Les prix seulement d'extraction et de transport par mer de chaque tonneau de pierres employées au brise-lame de Plymouth avaient été d'abord de 3 fr. 40 c. à 3 fr. 50 c. ; ils avaient été réduits ensuite à 2 fr. 97 c. et 2 fr. 22 c.

Le prix total de chaque tonneau de pierres employées au brise-lame, y compris les installations de quais, machines, mobilier en outils et les salaires de toute espèce, avait été de 10 fr. 50 c., et un personnel de 675 individus de toute catégorie avait suffi pour l'exploitation, le transport et l'immersion d'une quantité annuelle moyenne de 159390 tonneaux, et d'une quantité maximum par an de 207033 tonneaux.

A la digue de Cherbourg, d'après M. le baron Cachin, 3468290 mètres cubes de petites pierres et 234260 mètres cubes de blocs formant ensemble 3702537 mètres cubes, pesant moyennement 6294346 tonneaux, avaient coûté 20,968,930 fr., ce qui fait ressortir le tonneau *assorti* à 3 fr. 30 c.

Le personnel employé avait été, dans la période de la plus grande activité des travaux, de 1,058 pour un versement moyen annuel de 214000 tonneaux, et pour un versement maximum de 321454 tonneaux.

Dans le devis estimatif dressé pour l'achèvement de la digue de Cherbourg, MM. les ingénieurs Virla et Fouques-Duparc avaient évalué à 7 fr. 40 c. le mètre cube massif ou 2 fr. 84 c. le tonneau de moellons pour extraction, transport par terre et par mer et immersion; et à 16 fr. 70 c. le mètre cube massif ou 6 fr. le tonneau de gros blocs dont le poids varie de 540 à 4000 kilogrammes pour extraction, transport sur le chemin de fer, embarquement, transport en rade, à 4000 mètres de distance, et versement; mais il faut déduire de ces chiffres l'économie obtenue par l'établissement du chemin de fer, *défalcation faite du prix de loyer et d'entretien de ce chemin* (1).

*Des ouvrages en bois à la mer.*

Les ouvrages en bois se prêtent à toutes les formes possibles de revêtements; leur solidarité n'exclut point l'élasticité, et, sous ce rapport, ils résistent bien an choc des

(1) La dépense effectuée au chemin de fer de 615 mètres de longueur entre les points extrêmes, et comprenant 1551$^{m}$,50 de développement à une voie, a été de 227,674 fr. Elle se décompose comme suit :

Chemin des carrières aux grues d'embarquement . . . . . . . . . . . (A) 37,167 fr.
Chemin de fer proprement dit . . . . . . . . . . . . . . . . . . . (B) 142,757 »
Grues d'embarquement à l'origine amont . . . . . . . . . . 9,436 fr.
Appontements sur les rives du bassin de flot du port de commerce de Cherbourg. . . . . . . . . . . . . . . . . . . 17,794 fr.
27,230 fr. (C)
Mobilier en chariots, caisses, garnitures de grues et d'appontements. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 20,520 fr. (D)

La dépense moyenne d'entretien pour chacune des années 1834, 1835, 1836, 1837 et 1838, a été de (E) 4,900 fr. pour le chemin et les appareils fixes, et de (F) 3,920 fr. pour le mobilier.

En comptant à 5 p. c. l'intérêt annuel du capital A, à 7 p. c. celui du capital B, à 10 p. c. celui du capital C, à 15 p. c. celui du capital D, et ajoutant ces intérêts aux dépenses E, on trouve que la dépense totale de loyer et de l'entretien du chemin correspond à . . . . . . . 26,482 fr.

L'économie *relative* obtenue moyennement pour chacune des années précitées dans le prix des fournitures de blocs et de moellons du Roule a été de . . . . . 31,080 »

Le chemin de fer n'a donc produit qu'une économie *absolue* par an de . . . . 4,392 »

Ce chiffre d'économie suppose d'ailleurs que les extractions continueront indéfiniment aux carrières du Roule. Quoi qu'il en soit, l'avantage essentiel, celui de la rapidité des transports, restera acquis.

vagues. La facilité et la promptitude de lenr confection à terre, de leur assemblage et mise en place sont très-commodes dans une fonle de constructions à la mer, pour lesqnelles le temps dn travail est très-conrt, et surtont lorsque ces constructions penvent être appelées à résister de la veille au lendemain aux efforts des plus violentes tempêtes. La dépense initiale deces ouvrages est peu considérable : dès lors les pertes en cas d'avaries sont moiudres, et ces avaries elles-mêmes sont plus promptement réparées que celles de toutes autres espèces de constructiona.

Mais malhenreusement la durée du bois à la mer est très-limitée. Snr la plupart des côtes, les portions de bois immergées sont détrnites en 4 ou 5 ans par les vers marins, à moins qu'on n'y obvie par les expédients assez coûteux qui ont été indiqués dans la sixième leçon. Les parties émergées ne durent guère plus de temps sous l'influence des vicissitndes atmosphériqnes. L'oxydation ronge en peu d'années les ferrures de liaison.

*Des ouvrages en fascinages à la mer.*

Les fascinages à plat, les fascinages de soutènement, les tunages, les claies, les plates-formes, mentionnés à la neuvième leçon, sont employés en Hollande, en Flandre et dans le bas Poitou pour les revêtements d'ouvrages à la mer, même dans des parages exposés aux tempêtes. L'absence de matériaux à bon marché, autres que de frêles arbrisseaux, de la terre et du gravier, oblige de reconrir exclusivement à ces derniers. Mais il faut remarquer qne le succès de ce genre d'ouvrages tient :

1° A la position des plages sujettes à s'atterrir naturellement, ou sur lesquelles on a déterminé des atterrissements artificiels ;

2° A un grand soin d'exécution et surtont à un *entretien continuel;*

3° Aux talus très-allongés des revêtements et à la grande hauteur de leur couronnement au-dessus de l'ean ;

Tontefois, M. le colonel Émy pense que les revêtements en fascinages pourraient avec avantage être exécutés en *surfaces convexes* vers le large, que lenr exécution serait plus solide, etqneces onvragesoccnperaient moins d'espace et seraient d'une meilleure défensé;

4° A ce qn'ils soient immergés le plus possible, et que les parties émergées soient soustraites aux influences atmosphériques. On croit avoir remarqué que, dans les climats chauds, l'ardeur du soleil détruisait rapidement les bois des fascinages et desséchait les corrois de terre argileuse qu'on y entremêlait.

Bélidor recommande aussi de favoriser, sur les ouvrages en fascinages, la propagation des monles et autres coquillages qui contribuent à les garantir des ressacs de la mer.

Pl. 113. Fig. 579. Cet auteur décrit, dans le tome IV de son *Architecture hydraulique*, p. 93, nne espèce particulière de *tunages* formée de fascines et clayennages, mais sans couches entremêlées de pierrailles ou de terre argileuse; ce genre de construction est maintenu contre la tendance à l'émersion :

1° Par des pieux grêles et longs fichés à travers les couches; 2° par un grillage de

revêtement extérieur en bois et à compartiments ; 3° par le remplissage de ces compartiments superficiels en blocs et moellons posés de champ et à sec, et serrés les uns contre les autres.

Il est évident que ce genre de construction ne s'applique que dans des lieux sujets aux marées, et qu'il faut avoir soin, dans la construction qui s'effectue à basse mer et par intermittences, de charger les dernières couches de chaque période de travail de grosses pierres pour empêcher les vagues de les dégrader.

*Des maçonneries en pierres sèches à la mer.*

Des maçonneries en pierres sèches se prêtent à toutes les formes simples de revêtements ; mais elles exigent, pour résister à la mer, des blocs d'un poids considérable et à peu près uniforme, et qui *soient posés en boutisses.* Il faut aussi beaucoup de soin dans l'exécution, et notamment dans le *calage* des démaigrissements des blocs, afin que les pressions se transmettent sur toute l'étendue des assises, et afin que, nonobstant le mouvement en quelque sorte *vibratoire* des matériaux, ils ne puissent pas être isolés et détachés par les vagues. Les parties supérieures de ce genre de construction n'étant tenues que par leur masse, réclament surtout des blocs en boutisses d'un plus fort échantillon encore que ceux des assises inférieures, à moins qu'on n'exécute ces parties en maçonnerie de mortier hydraulique. Les figures 580 des planches représentent divers Pl. 114. Fig. 580.
profils pour la muraille en maçonnerie de pierres sèches, dont M. Lamblardie fils, inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes, avait proposé de tenter l'essai pour l'achèvement de la digue de Cherbourg. Cet ingénieur pensait que toute cette construction devait être comme à jour et former une espèce de claire-voie dans laquelle les eaux de la mer pouvaient jouer librement. L'effet direct du choc des vagues et celui de *succion* ou de *répulsion* du dedans au dehors qui suit ce choc devaient être, dans l'opinion de M. Lamblardie fils, d'autant moindres que le rapport des vides aux pleins serait plus grand. Il citait, à l'appui de sa manière de voir, la stabilité des maçonneries en pierres sèches des forts et môles du port de Roscoff ; des jetées des Pl. 114. Fig. 581.
îles de Jersey et Guernesey qui existent depuis soixante ans sur la côte nord de la Bretagne ; les môles des îles de Houat et d'Hœdic sur la côte sud du Morbihan ; enfin la jetée du port de Dielette située sur la côte nord-ouest de la rade de Cherbourg, fondée sur le rocher et n'ayant que 8$^{m}$,60 de large. Mais on lui objectait que si le noyau du massif était rempli en pierres d'un médiocre volume, les tassements inégaux ne manqueraient pas de détruire la solidité des noyaux et des parements, et que les blocs de ces derniers n'étant plus retenus seraient détachés par les vagues.

On ajoutait que les sujétions d'exécution d'une maçonnerie en pierres sèches, capable de résister à la mer, entraîneraient en définitive une dépense peut-être plus grande que celle d'un massif en maçonnerie de mortier hydraulique.

La destruction récente de la digue du Ligoudou, sur les côtes de l'île d'Ouessant en

dehors de la rade de Brest, construite en pierres sèches sur 65 mètres de longueur et 8 mètres de hauteur, sur une base en enrochements, confirme ce qu'on a dit plus haut sur la grandeur des blocs et les soins d'exécution qu'exige ce genre d'ouvrages.

*Des maçonneries en béton à la mer.*

Les maçonneries en béton dans les ouvrages à la mer comme dans ceux de l'intérieur peuvent avoir deux emplois distincts :

Le premier, de servir d'assiette de fondations et d'être ainsi exécutées dans des zones immergées ; le second, de remplacer les autres espèces de matériaux dans les zones constamment émergées, ou alternativement hors de l'eau et sous l'eau.

Dans les deux cas, les surfaces extérieures de ces maçonneries ne peuvent ni s'éloigner beaucoup de la verticalité ni présenter des formes anguleuses et convexes, parce que la viscosité du béton l'empêcherait de s'étendre dans les rentrants de ces formes.

Les dosages, les procédés de corroyage et d'immersion du béton à la mer réclament aussi des études spéciales dans chaque localité ; car la composition chimique de l'eau de mer, sa plus grande densité que celle de l'eau douce, les troubles qu'elle peut tenir en suspension, le batillage des vagues, le choc des navires, et enfin les dénivellations des marées, sont autant de données nouvelles dont il faut tenir compte.

Les difficultés inhérentes aux maçonneries de béton dans les ouvrages à la mer se trouvent dans la fabrication, le transport et l'immersion à prix modérés, dans un temps très-court, de quantités considérables de béton très-hydraulique.

*Maçonneries de béton dans les constructions constamment immergées.*

Le premier emploi ci-dessus des bétons exige des caissons en bois non foncés, tels que ceux qui ont été indiqués à la vingtième leçon, t. II, p. 22. Bélidor les décrit avec beaucoup de détails dans son *Architecture hydraulique* (tome IV, pages 178 à 190), et il dit Pl. 114. Fig. 582. avoir vu construire de cette manière, en 1748, une des jetées ou môles de la nouvelle darse du port militaire de Toulon. Les parois verticales de ces caissons étaient composées, comme dans les travaux en rivière, de pieux avec panneaux de palplanches intermédiaires battus au mouton.

En 1829, M. l'ingénieur Fouques-Duparc, pour former une risberme de défense du côté du large, au pied de la muraille verticale en maçonnerie actuellement en exécution au port de Cherbourg, avait projeté, à l'imitation de ce qui a été fait aux môles de Nice, d'Ancône, etc., etc., de grands caissons rectangulaires *foncés* d'environ 5 mètres de largeur moyenne, 5$^{m}$,40 de hauteur et 20 mètres de longueur, capables de recevoir en-Pl. 114. Fig. 583. viron 540 mètres cubes de béton. Ces caissons, placés en carreaux et boutisses, devaient être échoués sur une seule ligne parallèle à la muraille, à 4$^{m}$,15 de distance de son pied, et former à leur tour la paroi du côté du large d'une cuvette qui devait être rem-

plie sur place en béton de $0^{m},65$ à un mètre d'épaisseur. L'autre paroi de cette cuvette vers l'intérieur de la rade devait être un cordon de moellons.

Dès le début des travaux, en 1831, on a réduit les dimensions des caissons à 3 mètres de large, 2 mètres de long et 1 mètre de haut, et on les a exécutés en sapin du Nord. Pl. 114. Fig. 584. Ils étaient tenus à flot par de petits pontons; et la remorque du lieu de confection dans le nouvel arsenal de Cherbourg, au lieu de pose à la digue, se faisait généralement dans le beau temps par les bateaux à vapeur attachés au service de la digue. Mais le placement des caisses devait être fait dans les mers de vive eau, et précisément cette période de marées concourt très-souvent dans Cherbourg avec les coups de vent. Il arrivait donc aussi que le transport par mer et l'immersion des caissons ne pouvaient être faits en temps voulu. On a préféré depuis, pour l'accélération des travaux, faire confectionner les caisses à terre, dans le nouvel arsenal, les transporter vides à la digue, les y poser à basse mer et les remplir de béton à la même basse mer, et clouer un bordé sur le dessus du béton pour le défendre jusqu'à son complet durcissement.

Le béton, les mortiers, les matières diverses préparées, nécessaires aux maçonneries, sont du reste transportés par mer des lieux de confection dans le nouvel arsenal, au lieu d'emploi à la digue, par des trains de grands chalands du port de 12 mètres cubes massifs ou 31 tonneaux, construits solidement pour l'échouage. Ces trains, qui quelquefois comprennent jusqu'à six chalands chargés, sont remorqués par des bateaux à vapeur de la force de 50 à 60 chevaux. Les chalands sont échoués et déchargés à la basse mer sur la risberme intérieure sud de la digue. Le défaut d'emplacement pour chantiers, casernements, pour magasins à la digue, s'opposait à ce qu'on y approvisionnât les matières premières et à ce qu'on y fît les fabrications de bétons et de mortiers.

M. le colonel Émy dans son mémoire sur le mouvement des ondes, publié en 1831, avait proposé aussi des *caissons-moules* construits à terre, mis à l'eau, transportés par mer et échoués.

On peut assimiler aux caissons foncés l'échouage de vaisseaux ou navires remplis de béton ou de maçonneries, procédé employé fréquemment par les anciens pour la fondation de môles et de jetées, et renouvelé dans la construction de la célèbre digue de Richelieu. M. le colonel Émy a publié des détails intéressants sur ce dernier ouvrage, à la page 863 du mémoire déjà cité.

M. l'ingénieur Poirel, pour la restauration des môles d'Alger, s'est servi également de caissons échoués; mais ces coffres portent un fond de toile goudronnée, d'une ampleur suffisante pour s'adapter sur toutes les sinuosités du fond, et leurs parois montantes sont garnies à l'intérieur de la même toile. Les extrémités inférieures de ces parois sont d'ailleurs découpées suivant les sinuosités du profil du sol sur lequel elles doivent être échouées. Pl. 115. Fig. 585.

Ces coffres forment ainsi un véritable sac de toile, fortifié par des panneaux extérieurs en bois. Le fond en toile permet à la masse du béton de se mouler parfaitement sur le terrain. Le béton n'est au reste immergé qu'après l'échouage et la mise en place des

caissons. Ceux-ci sont préparés sur un chantier, mis à l'eau et remorqués par des pontons jusqu'à leur emplacement d'échouage. Cette dernière opération s'effectue en remplissant avec des poids de petites caisses vides ou pontons attachés aux bords supérieurs de la grande caisse.

M. l'ingénieur Poirel dit avoir été conduit à adopter ce genre de caissons par l'emploi des sacs de béton que les Italiens appliquent à la fermeture d'ouvertures et d'affouillements sous l'eau. Le mortier qui suinte à travers les pores de la toile lie entre eux tous les sacs cylindriques de béton qui ne forment bientôt plus qu'une seule masse compacte.

Ce système a, pour la rapidité d'exécution des travaux, tous les avantages des grands caissons foncés, et n'a pas les inconvénients d'exiger, comme eux, un dressement du sol, préalable à l'échouage. Il a sur les caissons non foncés, exécutés avec pilotis et palplanches, l'avantage de préserver le béton d'être délayé par les eaux de filtration agissant de bas en haut. On a vu précédemment, à l'occasion des fondations en béton des écluses de navigation intérieure, que M. l'ingénieur Barré Saint-Venant avait déjà fait usage des toiles imperméables contre les sources de fond.

Les coffres à *fond de toile* construits par M. l'ingénieur Poirel ont environ $5^m,30$ de largeur, $8^m,50$ de longueur, 3 mètres de hauteur moyenne, et contiennent au moins 127 mètres cubes de béton. Le mètre cube de cette maçonnerie immergée ne ressort à Alger qu'à 47 francs.

Les parois montantes de ces coffres peuvent resservir vingt fois moyennant quelques réparations, et une centaine de manœuvres en 28 heures de travail ont suffi pour concourir à la construction, la remorque, l'échouage et au remplissage d'un caisson.

M. l'ingénieur Poirel a émis l'opinion que, pour les fondations des grands môles, il serait probablement avantageux de revenir au système des cônes de M. Decessart, en se bornant à donner à la charpente une résistance suffisante pour contenir des maçonneries en béton jusqu'à leur complet durcissement.

*Maçonneries en béton dans les constructions émergées continuellement ou par intermittences.*

L'emploi de massifs de béton, pour les constructions émergées aux basses mers, exige la double propriété dans cette matière de durcir *également* bien sans gerçures et *égrènements* quand elle est couverte et découverte par l'eau; de durcir *assez vite* pour qu'elle ne soit pas bouleversée par les vagues dans les marées montantes et descendantes. Les parois en bois provisoires doivent aussi être assez fortes pour résister à la violence de la mer qui peut se *manifester subitement*.

Le temps du travail est, pour les constructions en béton émergées, encore plus restreint que pour celles toujours immergées, et par conséquent les difficultés de fabrication, de transport et d'immersion déjà signalées pour les massifs de béton immergés, seraient encore bien plus graves ici.

M. l'inspecteur général de Bérigny avait proposé ce système pour la muraille verticale de la digue de Cherbourg. Cet habile ingénieur pensait que l'homogénéité d'une seule masse en béton préviendrait toutes les lézardes que les inégalités de tassement des parements et des noyaux produisent presque toujours dans les massifs de maçonneries *mixtes*.

Il avait indiqué, pour l'exécution, des caisses en bois remplies de béton alignées sur les deux rives de la fondation, et équidistantes dans chaque ligne, qui devaient être autant de *gîtes* pour deux fortes semelles en bois parallèles à l'axe de la digue. Sur ces semelles devaient être dressées les fermes en charpente du coffrage, préparées et assemblées sur le chantier avant leur transport et leur mise en place. Cette charpente, bien liernée et consolidée par les moyens connus, ne devait être bordée qu'au fur et à mesure du remplissage en béton.

L'exécution était du reste projetée par parties, de manière qu'on n'eût entrepris à chaque reprise que la longueur dont on aurait pu élever la hauteur pendant la durée d'une morte eau et d'une vive eau consécutives.

En supposant que des lézardes se fussent manifestées sous les tassements inégaux des enrochements au-dessous, M. de Bérigny les aurait fait remplir par des injections, après qu'elles auraient atteint leur maximum d'ouverture.

Ce système avait rencontré des objections fondées sur les difficultés et lenteurs du levage des fermes en bois ; sur les avaries dont elles étaient susceptibles dans les gros temps ; sur les solutions de continuité qu'auraient déterminées, dans le massif, les pièces transversales destinées à empêcher la déformation des parois sous la poussée du béton encore fluide; sur les difficultés de fabriquer à terre, transporter à la digue, à 4000 mètres de distance, dans l'espace de 8 à 9 jours, un volume de 4000 mètres cubes de béton. Mais il a été écarté, principalement pour la digue de Cherbourg, par le doute où l'on était sur la possibilité d'obtenir à prix modéré du béton très-hydraulique.

On a cru devoir néanmoins parler ici d'un mode de construction qui peut trouver son application dans d'autres localités et qui a pour lui l'expérience consommée de son auteur.

A la muraille en maçonnerie en exécution à la branche est de la digue de Cherbourg, l'on a souvent, pour gagner du temps et se mettre plus tôt à couvert des chances d'avaries, substitué le béton aux maçonneries ordinaires en moellon et mortier du noyau de la muraille. Le béton est contenu sur les rives par les rangées de pierres de taille de parement en arrière desquelles se trouve *une levée* d'environ un mètre de largeur en maçonnerie ordinaire. Les tassements différents de ces trois espèces de maçonneries dans les mêmes assises sont négligeables évidemment dans un ouvrage dont la base en enrochements éprouve déjà des affaissements variables de $0^m,16$ à un mètre dans les profils en long et en travers.

*Maçonneries en mortier dans les ouvrages à la mer.*

Les ouvrages en maçonnerie de mortier se prêtent à toutes les formes possibles de revêtements d'ouvrages à la mer. Mais les lits et joints, l'appareil des maçonneries sont exposés ici à l'action des vagues, au choc des navires, à leur traction quand ils sont amarrés aux revêtements et qu'une cause quelconque, telle que le vent, les vagues, les courants, tend à les en éloigner.

Alors même que la mer est calme, son batillement à la surface des eaux et en dessous tend à ébranler la liaison des matériaux et à détacher le mortier intercalaire; et dès que les vagues ont pu se faire jour dans l'intérieur des massifs, elles y opèrent une dislocation progressive par leurs chocs, par leurs *succions* du dedans au dehors et par la poussée des eaux qu'elles y ont chassées en montant, et qui tendent à s'écouler quand les vagues s'abaissent. Les gaffes, les avirons des marins, dans les points d'accostage, sont une autre cause d'avaries.

Les divers motifs ci-dessus ont été allégués par des ingénieurs distingués, et notamment par feu M. Fouques-Duparc, en faveur des parements abrupts des maçonneries, et contre les talus de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{5}$, qu'on est dans l'usage de donner à ces parements dans les constructions ordinaires.

Le choc des navires poussés par le vent se porte sur des surfaces de contact très-étroites, à raison des formes courbes de ces navires dans le sens longitudinal et dans le sens transversal; ce choc peut ainsi occasionner des séparations entre la zone frappée et les zones voisines, et tendre à faire glisser ensuite et à faire pirouetter le massif détaché; dans le cas le moins défavorable, ce choc brisera les pierres de revêtement si elles sont médiocrement dures.

La traction des navires sur les revêtements auxquels ils sont amarrés peut aussi déterminer des effets analogues aux précédents, à moins que les maçonneries n'aient un grand excédant de stabilité, ou ne soient renforcées vis-à-vis les amarrages, ou à moins enfin que ces amarrages ne répartissent l'effort du navire dans deux sens orthogonaux sur un volume suffisant du massif.

Dans les localités sujettes aux marées, il faut de plus préserver le pied des revêtements de l'échouage des navires à basse mer. En effet, si l'assiette de fondation s'avance de beaucoup vers le large, et que les navires puissent s'y appuyer en échouant, les maçonneries sont exposées à des tassements fâcheux, à des tendances au pirouettement, et au moins à des dégradations graves dans les fondations. Si le fond est de la vase molle au pied des revêtements, l'échouage des navires peut encore avoir *indirectement* des effets fâcheux sur les fondations, en déplaçant une partie de l'appui que le fond procurait contre la tendance des fondations *à cheminer vers la mer.*

Les couronnements de revêtements qui servent à l'accostage, aux opérations de chargement et de déchargement, au dépôt temporaire de munitions d'un grand poids,

réclament encore plus de solidité que ceux des quais de fleuves et rivières mentionnés dans la vingt-cinquième leçon ; ici des pierres d'un grand volume réunies par des artifices d'appareil sont indispensables. On leur a toutefois préféré dans quelques circonstances des compartiments en bois ou en fonte de fer, dont les cases étaient remplies d'un pavage maçonné.

Quelques constructeurs ont pensé que les *joints horizontaux*, placés sur le même niveau dans les maçonneries à la mer, étaient plus rapidement dégradés que si ces niveaux variaient par ressauts, parce que, dans ce dernier cas, l'effort des vagues à la même hauteur était *morcelé*, et que les mêmes lits horizontaux ne se trouvaient qu'en petit nombre exposés aux mêmes efforts. Appareil des assises

D'autres, comme aux vieilles jetées du port de commerce de Cherbourg et aux murs de quai du port du Becquet, sur la côte est de la rade, ont appareillé les pierres par *cours verticaux*.

D'autres ont disposé les blocs par assises inclinées à 45°, comme à la jetée exécutée par l'ingénieur anglais Telford à Aberdeen en Écosse, et au débarcadère en maçonnerie de la ville de Port-Louis en rade de Lorient. Mais, ainsi que M. le colonel Émy le fait observer, le poids des matériaux et les frottements qui en résultent sont les meilleurs moyens d'assemblage des matériaux. Cet officier expérimenté recommande avec raison d'avoir des mortiers hydrauliques d'une grande énergie, et surtout d'un prompt durcissement, pour les revêtements à la mer, et d'éviter également des joints trop minces qui empêcheraient le jeu des affinités entre le mortier et les matériaux, et des joints trop épais qui donneraient de la prise à la corrosion et au choc de l'eau avant le durcissement des mortiers. On a déjà parlé d'ailleurs dans la dixième leçon, t. I, page 225, des ressauts, tenons, crans et autres artifices subsidiaires de liaison pour les ouvrages à la mer. Les figures 587 des planches représentent les plus simples et les plus usités. Pl. 113. Fig. 586. Pl. 113. Fig. 587.

M. le colonel Émy a observé dans beaucoup de revêtements *parementés* en pierres de taille, avec *panneresses ou carreaux* et *boutisses*, que, par suite de l'inégalité des tassements des parements en maçonneries intérieures en moellons, dans lesquelles les queues de boutisses étaient engagées, ces dernières prenaient la disposition en éventail indiquée dans la figure 588 des planches, dégageaient ainsi toutes les panneresses, et que les vagues pouvaient alors arracher ces dernières, soit par l'effet de *succion*, soit par le simple effet dynamique de l'eau entrée pendant la dernière oscillation ascendante de la vague, et qui en sort pendant la dernière oscillation descendante. Quelques boutisses sont même quelquefois rompues dans les zones inférieures des revêtements. Pl. 113. Fig. 588.

On éviterait sans doute ces effets, soit : 1° en employant des blocs en parement d'un plus grand volume, et des boutisses ayant peu de saillie dans la maçonnerie intérieure du noyau ; 2° en plaçant à intervalles égaux en hauteur des plates-formes générales en *forts libages*, grossièrement smillés, qui s'étendraient sur toute l'épaisseur et formeraient comme un *grillage* en pierres : mais l'on augmenterait ainsi de beaucoup la dépense de construction.

M. le colonel Émy est arrivé au même but avec plus d'économie en *calant* toutes les queues de boutisses, depuis les fondations jusqu'au couronnement, par des dés en pierres de taille seulement smillés dessus et dessous, exactement arasés au même niveau que les assises auxquelles ils correspondaient ; et pour répondre à l'objection que la maçonnerie de moellons comprise entre ces espèces de *contre-forts* au *parement* n'aurait pas une largeur suffisante pour déterminer une bonne liaison, M. le colonel Émy conseille de disposer l'appareil de manière qu'il y ait dans le sens longitudinal au moins égalité entre les contre-forts et les maçonneries intercalaires, c'est-à-dire de donner plus de longueur aux *panneresses* et de n'employer les boutisses que deux en deux, comme

Pl. 113. Fig. 589. dans la figure 589 des planches.

Il faut du reste éviter que ces *dés* ne dépassent les queues des boutisses vers l'intérieur, parce qu'alors, indépendamment d'une consommation inutile de pierres, la queue des *cales* engagée dans les maçonneries du noyau participerait à son tassement, ferait *lever*

Pl. 113. Fig. 590. cette fois les queues des boutisses, les ferait sortir du parement et provoquerait la prompte démolition des revêtements.

Une des grandes difficultés des maçonneries en mortier dans les ouvrages à la mer, c'est de les garantir des effets des vagues dans les premiers temps et lorsque les mortiers n'ont pas encore durci. On cherche à y obvier en fractionnant le travail dans le sens de sa longueur, afin de pouvoir l'avancer plus rapidement en hauteur. On protége d'ailleurs les maçonneries fraîches par des rechargements en blocs amovibles portés par des plates-formes en bois également amovibles, et en jetant des enrochements au large des ouvrages.

A la muraille en exécution à la branche est de la digue de Cherbourg, M. l'ingénieur Virla a pris, pour resserrer le champ des avaries, les dispositions suivantes, qui ont parfaitement réussi :

1° Des chaînes verticales en forts libages sont établies de 25 en 25 mètres en travers du massif des maçonneries ordinaires et sur toute sa hauteur, et elles sont rejointoyées à l'extérieur en plâtres-ciments très-énergiques ;

2° Les nappes horizontales en maçonneries qui doivent rester longtemps exposées aux chances d'avaries, sont couronnées par un dallage de libages schisteux, noyés dans un bain de plâtres-ciments mélangé avec du sable ; les rejointoiements sont effectués avec le même genre de mortier.

### *Revêtements métalliques.*

On renvoie à la vingt-cinquième leçon, t. II, pages 128 à 131, pour les détails relatifs à ces revêtements, en rappelant que ce mode de construction, pratiqué en Angleterre sur une grande échelle, ne peut présenter d'avantages que dans les contrées où la fonte de fer est à très-bon marché, d'une excellente qualité, et pour des ouvrages qui ne seraient pas exposés aux chocs violents de corps solides ; que, même avec toutes ces conditions, ce

système ne semble pas promettre la durée des constructions en maçonnerie de pierres dures, ni même celle du bois complétement immergé et préservé efficacement contre l'action des vers marins.

*Configurations et formes générales des surfaces extérieures de revêtement d'ouvrages à la mer.*

S'il n'y avait à considérer dans les configurations des revêtements que la stabilité des matériaux qui les composent, leur disposition en *longueur* devrait être celle que prendraient dans le même emplacement *ces mêmes matériaux isolés*. Ainsi, d'après les observations de M. Lamblardie père, déjà relatées, si la longueur de l'ouvrage était oblique relativement à la direction des vagues dans les tempêtes et à celle des courants, il faudrait disposer la ligne longitudinale de l'ouvrage exécuté avec des blocs de pierres, suivant une ligne polygonale ou une courbure plus ou moins concave. Mais ordinairement cet alignement est déterminé par une foule d'autres considérations prédominantes. Ainsi, pour résister plus efficacement à l'action *normale* des vagues, la direction de l'alignement devrait être, dans l'opinion de beaucoup d'ingénieurs, convexe vers le large ; d'autres, recherchant avant tout la facilité et l'économie d'exécution, préfèrent des alignements droits. La destination spéciale des ouvrages, des sujétions locales, la nature des *matériaux disponibles* sont autant d'éléments de la question. Configuration en longueur.

Quel que soit le tracé *général* des alignements des ouvrages, il est important d'éviter des angles brusques et surtout des angles rentrants par rapport à la mer. Ainsi les enracinements des ouvrages dans les rives, les raccordements en longueur des divers alignements de développement longitudinal, doivent être adoucis par des formes curvilignes du plus grand rayon de courbure possible.

Une longue controverse s'agite encore sur la forme des parois ascendantes des revêtements à la mer. On l'a envisagée *d'une manière absolue* et comme la condition essentielle de la stabilité. Configuration en hauteur.

Ainsi les exemples nombreux de résistance et de durée de grands talus allongés des digues de la Hollande et de la Flandre, ont été invoqués par divers ingénieurs pour généraliser partout cette forme extérieure des revêtements (voir le deuxième mémoire de M. Fazio et l'extrait traduit par M. le Moyneaux, *Annales des ponts et chaussées* de 1837). D'autres y ont opposé les avaries sans cesse renouvelées aux enrochements en gros blocs de la digue de Cherbourg et du breakwater de Plymouth, de la digue de garantie de Saint-Jean-de-Luz, de celle de Cadix, et ont cité en faveur des parois abruptes un grand nombre de constructions qui avaient résisté dans les mêmes parages ou dans des positions analogues, telles que :

La digue d'enceinte de la Floride au Havre, le long de la Seine, exécutée en maçonnerie de mortier ; Pl. 103. Fig. 346.

La digue d'enceinte, à l'est du nouveau bassin de flot, du port militaire de Cherbourg (en maçonnerie de mortier) ; Pl. 103. Fig. 325.

La digue de communication du fort du Homet (en maçonnerie de mortier), faisant face à la plaine vers le nord ;

Pl. 105. Fig. 548. Les jetées du port de commerce de Cherbourg (en maçonnerie de mortier) ;

Les jetées du port de Dielette qui ne sont même qu'en maçonnerie de pierres sèches ;

Pl. 105. Fig. 550. Le môle de Granville, en maçonnerie de mortier ;

Pl. 114. Fig. 581. Le môle de Roscoff, en maçonnerie de pierres sèches ;

Pl. 107 à 112. Fig. 551 et 570. Les murazzi de Venise et tous les môles, tant anciens que modernes, des ports de la Méditerranée ;

Enfin les jetées avec coffrages en charpente, tant anciennes que modernes, des ports de l'Océan.

La forme donnée par la mer elle-même aux côtes qu'elle corrode, aux matières qu'elle entasse, aux enrochements qu'elle dresse, a été considérée par d'autres constructeurs comme la seule appropriée aux constructions d'art. Cette forme, observée par M. Lambardie père et signalée dans son mémoire sur les côtes de la haute Normandie, ainsi qu'il a été dit précédemment, a été reconnue aussi par MM. les ingénieurs Potel et Mary (voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1832), et par une foule d'autres personnes qui ont examiné les côtes schisteuses et granitiques de la basse Normandie et de la Bretagne. Pl. 102. Fig. 519 et Pl. 115. Fig. 591. Elle est représentée par les figures 519 et 591 des planches. On voit qu'elle est *curviligne*, mais seulement au-dessus des hautes mers *calmes*, et qu'au-dessous de ce niveau, elle présente, suivant la nature des roches, des parois très-abruptes ou très-allongées.

Aux travaux d'enrochements qui eurent lieu pendant l'Empire à la partie centrale de Pl. 116. Fig. 592. la digue de Cherbourg, sous la direction de MM. le baron Cachin et l'ingénieur Duparc, on avait cru remarquer aussi que ces blocs se dressaient dans les tempêtes suivant une courbure cycloïdale entre les niveaux des basses mers et des hautes mers, et l'on avait projeté le revêtement définitif suivant cette *courbure* de frottement *minimum* des *vagues* contre les blocs. Mais cette courbure était aussi celle qui favorisait l'ascension et le déferlement de vagues à la crête des ouvrages. D'ailleurs, telle courbure, convenable contre des tempêtes de *nord-est en morte eau*, n'était plus convenable pour d'autres tempêtes en *vive eau*, et *a fortiori* devait-elle différer de celle qui eût correspondu à des tempêtes de *nord* ou de *nord-ouest*, en *morte eau* ou en *vive eau*.

Enfin, M. le colonel Émy, attribuant aux *flots de fond*, dont l'existence est encore mise en doute aujourd'hui par un très-grand nombre d'ingénieurs, tous les effets qui avaient été jusqu'ici attribués aux vagues et aux courants, a proposé la forme concave pour tous les ouvrages à la mer, quelles que fussent leur position, leur destination, la nature des matériaux à mettre en œuvre, pourvu toutefois qu'ils fussent exposés perpendiculairement ou obliquement à la marche des ondes et des vagues (1).

M. Emy place la naissance de la courbure non au *niveau des hautes mers calmes*,

(1) S'ils y étaient parallèles, il faudrait préférer les surfaces planes abruptes.

mais *au pied de l'ouvrage* même, où elle doit être tangentielle aux talus du fond ; cette courbure qui, pour l'uniformité et plus de facilité dans le travail, est en arc de cercle, se termine vers le haut par une paroi verticale et même surplombée vers le large.

Cet officier a fait exécuter 425 mèt. courants de parements à la place de Saint-Martin à l'île de Ré, qui avaient parfaitement résisté pendant dix ans, tandis que les parements plans des ouvrages primitifs avaient été ruinés. On peut citer à l'appui de cette configuration les empatements du phare du Four en France, des phares d'Eddystone et de Bell-Rock en Angleterre, et un assez grand nombre de môles récemment exécutés dans les ports de la Grande-Bretagne. Pl. 116. Fig. 393.

M. l'ingénieur Debaudre a adopté un profil analogue pour la reconstruction du môle de la Saccoa dans la baie de Saint-Jean-de-Luz. Pl. 116. Fig. 394.

Mais pour que des rapprochements et des comparaisons pussent conduire à des règles générales, il faudrait :

1° Que ces comparaisons eussent été faites sur les mêmes lieux, dans les mêmes circonstances de mer, pendant les mêmes périodes de temps ;

2° Que les ouvrages de diverses formes extérieures fussent exécutés avec les mêmes espèces de matériaux, les mêmes artifices d'appareil, et surtout avec le même soin : sinon l'on risque d'attribuer à telle ou telle forme ce qui ne provient réellement que d'*une exécution meilleure*.

D'ailleurs, *dans la pratique*, soit que l'on considère les efforts exercés ou la résistance opposée, il est évident qu'une section polygonale présentant diverses inclinaisons, inscrite ou circonscrite à une section curviligne, doit se comporter à peu près comme cette dernière.

Plans inclinés allongés.

Les grands plans inclinés très-allongés sont, sans contredit, dit M. le colonel Emy, les surfaces qui présentent le moins d'obstacles à la mer, et ils éprouvent d'autant moins de dégradations que leurs pentes sont plus douces. Ces dégradations paraissent être du reste à leur maximum au *niveau des moindres hautes mers de morte eau*, dans les côtes sujettes aux marées. — Ces plans inclinés admettent aussi l'emploi des matériaux les moins dispendieux. M. Émy cite la plage artificielle de sable de Saint-Jean-de-Luz qui résiste très-bien sur une pente de 11 mètres de base pour un de hauteur équivalente à celle des plages naturelles de la même côte. Mais, d'un autre côté, on sait déjà que, par une sorte de compensation, les talus allongés élèvent à une plus grande hauteur le point culminant des vagues et leur font ainsi atteindre des points qu'elles n'eussent pas frappés.

D'ailleurs toutes les localités, tous les ouvrages ne comportent pas des pentes très-douces à raison des dépenses initiales des travaux et de la grande étendue de terrain qu'elles exigent.

La commission supérieure, qui, en 1792, avait eu à discuter le système de construction à adopter pour la digue de Cherbourg au-dessus du niveau des basses mers, *ayant fait abstraction, à la vérité, de l'action du vent et de celle des courants*, avait conclu que la

pente de 7 mètres de base sur 2 de hauteur convenait à des talus formés avec des blocs d'enrochements de 20 à 25 pieds cubes (0m.c.,68 à 0m.c.,85), dont le talus naturel hors de l'eau eût été de 45 degrés. Un talus plus allongé eût combattu, dans l'opinion de la commission, la tendance des matériaux à redescendre avec les vagues, mais eût rendu aussi plus forte la poussée de l'eau qui, introduite avec la vague montante dans les vides des enrochements, eût, en sortant avec la vague descendante, déplacé les matériaux. Mais en rétablissant l'*action du vent et des courants*, qui s'exerce particulièrement entre les niveaux des basses et des hautes mers, on voit qu'on ne saurait induire de la résistance des talus à une pente déterminée au-dessous des basses mers ce qu'elle serait au-dessus de ce niveau.

Les grands plans inclinés entre les niveaux des hautes et basses mers surmontés au-dessus du premier de ces niveaux d'une courbe cycloïdale, avaient réussi dans la Manche et dans l'île de Ré, et au nouveau brise-lame isolé de Cette, dans la Méditerranée.

Mais ces plans très-allongés sont construits en menus matériaux, et sur des plages susceptibles de *s'atterrir naturellement*, ou *rendues telles par des ouvrages spéciaux*. Quant aux avaries éprouvées par les digues de Saint-Jean-de-Luz et de Cadix, on pense,
Pl. 116. Fig. 395. comme M. le colonel Émy, qu'elles ont été dues principalement aux enrochements qui garnissaient leur pied, et dont les blocs enlevés et roulés par les tempêtes agissaient comme de véritables béliers sur les parties supérieures abruptes.

Parois abruptes. Les parois abruptes planes exigent le minimum de terrain, exposent le minimum de surface à l'action des vagues ; celles-ci, au lieu de déferler sur la rive, sont repoussées vers le large ; mais ces parois éprouvent aussi le maximum d'effort sur chacune de leurs zones, à la hauteur à peu près du plan moyen des marées ; de plus, les vagues raccourcies et réfléchies doivent agir avec plus de force au pied de ces parois et attaquer les fondations de proche en proche si elles ne sont pas très-résistantes.

Les parois concaves de M. le colonel Émy n'ont encore été établies que dans les localités où leurs fondations étaient peu au-dessus du niveau des basses mers. Cette forme, en supprimant les angles rentrants qui existent entre les parois verticales et les talus du fond, doit effectivement amortir les efforts des vagues et les répartir plus uniformément sur toute la surface des revêtements. M. Émy fait observer, de plus, avec raison, que dans des parements en pierres de taille, les blocs étant taillés et coupés en voussoirs comme dans une voûte, ne peuvent sortir de leur place même par la réaction des plus fortes percussions. Mais d'un autre côté, les formes courbes exigent plus de terrain, plus de dépenses de construction première, et sont d'une réparation plus difficile. Enfin, il y aurait à examiner s'il n'en coûterait pas moins, pour obtenir une résistance équivalente, d'employer des matériaux avec des formes planes, mais plus volumineux et mieux liés entre eux.

En résumé, dans chaque cas particulier, il faudrait se rendre compte :

1° De la direction générale des ouvrages relativement à celle des vagues et des courants dans les gros temps, afin de connaître si leur action tend principalement à frapper

normalement les surfaces des revêtements ou à faire cheminer dans le sens longitudinal les matériaux qui auraient été détachés ;

2° De l'action des vagues sur la plage où l'ouvrage doit être exécuté, afin de connaître s'il y a tendance aux corrosions ou aux atterrissements ;

3° Des matériaux disponibles à prix modéré dans la localité ;

4° Des surfaces de terrain dont on peut disposer pour l'assiette des ouvrages ;

5° Des conditions spéciales autres que celles de résistance aux vagues et aux courants, telles que conditions défensives, nautiques, commerciales, conditions de permanence ou de durée temporaire des ouvrages à faire ;

6° Des moyens *praticables* d'exécution et surtout d'entretien ;

7° Du prix initial des constructions et des réparations probables dans chacun des *modes possibles.*

C'est en pesant l'importance respective de ces divers éléments qu'on parviendra à la solution cherchée ; et en appliquant une pareille analyse aux ouvrages existants, on y trouverait probablement la justification de la plupart des modes divers d'exécution qu'une expérience *traditionnelle* a consacrés dans les diverses contrées maritimes.

*Mode d'évaluation des efforts qu'auront à subir les ouvrages par l'action de la mer.*

Dans l'appréciation des efforts produits par la mer contre les ouvrages qui y sont exposés, il faut évidemment se placer pour chaque cas dans les hypothèses les plus défavorables. Ainsi l'on supposera que les lames arrivent perpendiculairement à la direction des ouvrages, et qu'elles sont d'un côté au maximum de hauteur de l'oscillation ascendante dans les plus violentes tempêtes, et sur l'autre rive de l'ouvrage au maximum d'abaissement de l'*oscillation* descendante. La différence de hauteur entre ces deux points correspondra à la surface pressée, et le centre de poussée déterminera le bras de levier de l'effort exercé par les lames.

Mais, outre cet effort, il en est un autre qui provient du choc de la lame, et l'on a déjà dit qu'à Cherbourg il avait été trouvé équivalent à une charge de 3600 à 4000 kilog. par mètre carré de surface choquée, ou à une hauteur d'eau permanente de 3m,60 à 4 mètres.

M. l'ingénieur Virla, dans une note relative aux projets de la digue de Cherbourg, ne considérant que les *lames libres dans leurs mouvements et sans vitesse primordiale* provenant des courants ou de toute autre cause, faisait observer que dans les lames la vitesse de l'eau s'accroît depuis le sommet jusqu'au niveau moyen ; qu'elle diminue ensuite et devient nulle dans le point le plus bas, pour croître de nouveau dans le mouvement ascensionnel, atteindre son maximum au milieu de l'amplitude et se retrouver nulle au sommet.

La vitesse maximum dépendait alors uniquement de la hauteur verticale franchie par le liquide, et devait être égale à celle d'une masse quelconque tombant de cette hauteur.

Par conséquent, appelant $2h$ l'amplitude totale d'une lame, sa hauteur au-dessus du niveau moyen sera $h$ et sa plus grande vitesse $\sqrt{2hg}$. De sorte que dans les circonstances les plus favorables à son action, M. Virla assimilait l'effort de la lame contre une surface plane frappée directement à la pression d'une colonne d'eau ayant pour base la surface en question et pour hauteur celle due à la plus grande vitesse de l'eau ; il posait en conséquence

$$P = s \times h \times \pi \text{ (pesanteur spécifique de l'eau de mer).}$$

Mais si les lames sont animées en outre d'une vitesse générale de translation, cette évaluation serait insuffisante. Ainsi on a vu à la muraille en exécution à la digue de Cherbourg par des tempêtes de nord-est et de nord-ouest, la mer s'élancer en jets depuis 10 mètres jusqu'à 30 mètres de hauteur ; ce serait donc d'après ces derniers chiffres qu'il faudrait alors apprécier la vitesse du choc des lames.

Toutefois, ce qui atténue cet énorme choc, c'est que, suivant l'observation faite par M. Fouques-Duparc, le parallélisme des vagues n'est jamais tel, qu'un ouvrage soit frappé instantanément sur toute son étendue et avec la même force. Les lames n'agissant d'abord que dans un espace assez resserré, leur action se propage ensuite à des distances plus ou moins grandes. Dès lors la partie la première attaquée d'un ouvrage trouve à ses extrémités des points d'appui qui ajoutent à sa résistance propre, et réciproquement, si la solidarité est suffisante, cette zone appuie ces mêmes points lorsque la lame en s'avançant vient les frapper à leur tour. Cette remarque explique comment les ouvrages dont la résistance contre l'action de la mer n'avait été calculée que dans l'hypothèse d'*un effort statique*, ont soutenu les efforts du choc des plus violentes tempêtes.

---

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE-CINQUIÈME LEÇON.

DES OUVRAGES TELS QUE LES ÉPIS, ENDIGAGES, DESTINÉS A PRÉVENIR LES ALLUVIONS ET ATTERRISSEMENTS. — DES JETÉES RIVERAINES DES CHENAUX D'ENTRÉE DES PORTS A MARÉES. — DES BRISE-LAMES ET MÔLES D'ABRITEMENT.

---

### *Des ouvrages destinés à prévenir les alluvions et les atterrissements.*

Ce qui a été dit dans la trente et unième leçon, t. II, p. 269 et 270, de 280 à 283, et dans la trente-deuxième leçon, pages 285 et 286 ; les notices données dans les trente-deuxième et trente-troisième leçons sur les ports à marées et sans marées, militaires et commerciaux, ont déjà fait connaître que les dépôts d'alluvions aux atterrages, à l'entrée et à l'intérieur des rades et des ports, provenaient de causes naturelles en quelque sorte

insurmontables, étaient la source de dépenses onéreuses et incessantes, et devaient à la longue, à travers toutes les vicissitudes physiques et politiques d'un pays, compromettre et même anéantir l'existence de ces rades et ports.

Quand l'origine des *matériaux* des alluvions est sur les côtes et qu'*elle est bien déterminée*, comme sur les côtes de la Manche, il ne serait pas physiquement impossible d'y remédier. Ainsi que feu M. Lamblardie père l'a fait observer, un mur de revêtement ou tout autre ouvrage de protection empêcherait l'action des vagues et des courants de saper le pied des falaises de la haute Normandie et d'en détacher les galets; mais l'énormité d'une pareille dépense ne permet pas de s'arrêter à de tels moyens.

Sur les côtes sablonneuses de l'Océan et de la Méditerranée, la mobilité des sables *au-dessus des eaux* peut être fixée par des ensemencements et des plantations déjà essayés avec succès dans le département des Landes et en Italie.

Mais lorsque les matériaux *des alluvions* proviennent du fond même de la mer ou des détritus de côtes éloignées, on n'a plus d'autre ressource que de *les dévier de leur route*, ou d'*en prévenir en partie le dépôt*, ou enfin de *les enlever*.

### *Ouvrages pour arrêter la marche des alluvions.*

Ici, comme dans les fleuves et rivières, et par l'analogie *apparente* qui existe entre eux et les courants de flot et de jusant dans l'Océan et le courant littoral de la Méditerranée, on a été conduit à l'établissement d'épis saillants sur celles des côtes d'où les alluvions provenaient. L'analogie n'est qu'apparente, car le cours des fleuves est toujours dans le même sens; la vitesse des eaux dans le sens unique n'est *jamais anéantie*; les variations dans la hauteur des eaux y sont liées à des variations presque aussi grandes dans les vitesses, surtout dans les zones supérieures du cours de ces fleuves; le batillage et les faibles ondulations des eaux des rivières n'ont aucun rapport avec les vagues de la mer, même dans un temps ordinaire. Enfin la mer n'est point contenue entre deux rives, qui se renvoient les eaux par *bricoles*; et l'effet d'un épi est insensible *sur la masse des eaux* du flot et du jusant dans l'Océan, ou des eaux que le courant littoral met en mouvement dans la Méditerranée.

Les *épis saillants, considérés seulement comme moyens d'arrêt des matériaux des alluvions*, ne sont, sur les côtes comme sur les rives des fleuves, que des palliatifs d'une efficacité très-limitée. Dès que l'amoncellement des galets, sables et vases, dans l'angle rentrant de l'épi avec la côte, a dépassé la tête de cet ouvrage, ces matières recommencent à cheminer comme auparavant. De plus, ainsi que M. Lamblardie père l'avait déjà annoncé dans son mémoire sur les côtes de la haute Normandie, ces épis, s'ils *déterminent une défense artificielle sur la plage en amont*, occasionnent à la fois *en aval* des dégradations qui s'étendent souvent sur une grande longueur, et dont la profondeur peut dépasser la naissance de l'épi. M. l'ingénieur Frissart, dans l'*Histoire du Havre*, p. 117, confirme ce fait grave.

Quoi qu'il en soit, les épis continueront d'être employés sur les côtes, et ont été adoptés récemment encore aux approches du port de Dieppe, parce qu'ils développent un *estran artificiel* en avant des côtes naturelles, et parce qu'ils empêchent dans les tempêtes l'*arrivage simultané* de quantités de matières qui suffiraient pour obstruer en quelques jours l'*entrée d'un port*, et mettraient en défaut toutes les *ressources ordinaires*. Leur direction est ordinairement normale à la côte, ou plutôt à la route que suivent les alluvions. M. l'ingénieur Brisson recommandait une direction normale aux courants de flot et de jusant, afin de retenir une plus grande quantité de matières sans augmenter les tournoiements à l'aval, et afin de résister également bien *dans les premiers temps* aux courants alternatifs de flot et de jusant dans l'Océan. Toutefois, dans l'*intérêt même de conservation des épis*, on cherche aussi à disposer leur tracé d'après la direction des coups de vent, de manière que ces ouvrages éprouvent le moins possible de dégradations dans les gros temps.

Pl. 116. Fig. 596. Les figures 596 des planches représentent l'ensemble des épis du Helder en Hollande, et ceux des atterrages du Havre.

Les *matériaux des alluvions*, surtout les galets et les sables, ne se trouvent que dans les couches inférieures des eaux ; les épis peuvent être, sur les côtes de l'Océan et de la Méditerranée, *submersibles* aux hautes mers, et se trouver en saillie, sinon à une hauteur constante au-dessus du fond, au moins à une hauteur décroissante depuis l'enracinement insubmersible dans la côte jusqu'au-dessous du niveau des plus basses mers.

La multiplicité et la grande longueur des épis, les dégradations auxquelles ils sont exposés, leur *temps restreint d'utilité*, doivent faire restreindre aussi, autant que possible, leur profil transversal et les dépenses de leur construction.

A moins que ces ouvrages ne doivent servir à la fois de digues, de chemins ou de débarcadères à l'aval, leur forme transversale peut ne consister qu'en un *simple triangle*, et les matériaux les moins coûteux dans chaque localité sont les plus convenables.

Sur la côte nord du Havre, où les épis ont jusqu'à 60 mètres de longueur et sont construits en bois, on a simplifié de plus en plus leur canevas, et M. l'ingénieur Frissart est arrivé successivement aux formes indiquées dans les figures 596 des planches.

Pl. 116. Fig. 596. (margin note beside "construits en bois")

Pl. 117. Fig. 597. Mais pour prévenir les dégradations de la côte entre deux épis successifs, il indique des estacades en bois, les unes à pieux, exécutables à loisir, les autres *à patin*, qui sont applicables aux réparations urgentes.

Les raccordements des épis avec la côte doivent être d'ailleurs arrondis suivant les principes généraux déjà exposés, pour former un enracinement *en talon*.

Les épis de 100 mètres de longueur, exécutés par M. l'ingénieur Potel à l'île de Ré, et qui ont été l'objet d'une notice fort intéressante, insérée par M. l'ingénieur Mary dans

Pl. 117. Fig. 598. les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, présentent en plan et en coupe les formes et systèmes de construction indiqués figures 598 des planches. On voit que le talus *à l'aval* du cours des alluvions est très-allongé, pour empêcher les dégradations que la chute

des vagues déterminerait de ce côté, après qu'elles auraient gonflé et déversé sur le couronnement.

Le noyau de l'épi est en terre, ou rocaille, ou sable, revêtu d'une couche de terre glaise, dite *bris* ou *bricq*. Dans la partie la plus saillante de l'épi, vers le large, ce premier revêtement n'est séparé des eaux que par un second en maçonnerie à pierres sèches, exécuté comme il est indiqué figures 599 des planches. Mais plus près de la rive, et dans la zone correspondante au niveau du plan moyen des marées et des hautes mers de morte eau, où la mer a le plus d'action, M. l'ingénieur Potel a recouvert la couche de *bris* par superposition successive : Pl. 117. Fig. 599.

1° D'une couche de paille ou roseau de 5 centimètres ; 2° de deux couches de fascines ; 3° sur ces couches on a dressé des bandes verticales de tunages et clayonnages très-serrés, seulement à $0^m,20$ d'intervalle.

En Flandre ou en Hollande, où il s'agit d'arrêter seulement la marche des vases et des sables, et principalement pour exhausser une plage naturelle très-allongée, les épis, suivant leur importance, se classent :

1° En *slyk-vangers* ou *amasseurs de boue*, qui, en travers, sont disposés suivant un arc de cercle de 2 à 3 mètres de corde, et de $0^m,25$ à $0^m,30$ de flèche, et sont formés d'un noyau de glaise, engagé dans la plage, et recouvert de fascines à plat ; le tout est fixé au sol par des rangs de clayonnages (voir figures 600 des planches) ; Pl. 117. Fig. 600.

2° En *épis d'ensablement*, à section triangulaire, arrondis à leur tête, on musoir vers le large, plus élevés que les précédents, ayant 6 mètres de largeur à la base et $1^m,25$ de hauteur, non compris $0^m,30$ d'enracinement dans le sol. Ils se composent d'un noyau en terre glaise et de couches de fascines superposées et placées en retraite les unes sur les autres, la tête en dehors. Le tout est lié au sol par des lignes de clayonnages ; mais ici les cases entre les lignes de tunages sont remplies de blocaille pour être mieux défendues contre les paquets de mer ; Pl. 118. Fig. 601.

3° En *palhoofd* ou *têtes a la mer*, qui ont jusqu'à 150 à 200 mètres de longueur, et sont composés d'une ou de plusieurs lignes de pieux presque *jointifs*. Ces pieux, de 4 à 5 mètres de longueur, s'élèvent à $1^m,80$ ou $2^m,10$ au-dessus de la plage et sont reliés par des ventrières. Sur toute l'étendue de l'ouvrage et sur ses rives s'étend un fascinage à plat comme celui des *slyk-vangers*, afin d'éviter les affouillements. Pl. 118. Fig. 602.

Sur un fond de roches, les moyens indiqués ci-dessus ne conviendraient pas évidemment, et alors il faudrait recourir aux maçonneries en pierres sèches, qu'on pourra disposer comme il est indiqué figures 603 des planches. Pl. 118. Fig. 603.

M. l'ingénieur Mary, dans la notice indiquée ci-dessus, recommande avec raison, lorsque plusieurs épis doivent être établis sur le même côté, de commencer le travail par celui qui est en aval, relativement au point de départ des matières alluvionnaires ; et de ne procéder à celui qui est immédiatement en amont de lui, qu'après *que le premier* aura produit tout son effet ; d'autant que la limite des dépôts obtenus déterminera la distance à laquelle les épis doivent être établis.

*Ouvrages pour prévenir les dépôts d'alluvions.*

. 69 Fig. 336. Dans les atterrages, rades et chenaux des ports qui présentent, comme à Lorient, sur les rives à basse mer, de grandes lagunes sablonneuses ou vaseuses, on peut par des endigages littoraux insubmersibles à haute mer, construits en matériaux à bas prix et d'une durée limitée, remblayés en arrière avec les produits du curage local ou avec des terres, obtenir une vitesse plus grande de flot et de jusant dans les heures qui précèdent et suivent la haute mer. Car la diminution du volume d'eau *appelé du large* est négligeable relativement à la masse totale des eaux en mouvement ; tandis que la réduction de la section du débouché est très-notable, surtout à l'étale de haute mer, et produit ainsi une augmentation proportionnelle dans la vitesse.

Ces moyens ont réussi en Angleterre à l'embouchure du Wear, qui déversait ses eaux sur une plage alluvionnaire de sables et galets. Un barrage même s'était formé, que des bâtiments d'un tonnage un peu considérable ne pouvaient franchir qu'à haute mer. On a construit d'abord un endigage au nord, puis un autre au sud, et l'énorme masse d'eau que la mer épanche dans le Wear, et qui remonte à plusieurs kilomètres en amont, ainsi resserrée au jusant, a produit une chasse qui a détruit la barre.

Ainsi qu'il a été déjà indiqué vingt-cinquième leçon, t. II, p. 142 et 143, les endigages insubmersibles doivent être disposés de manière que l'eau qui, à chaque haute mer, couvrira les lagunes *submersibles*, sorte à marée baissante par les chenaux qu'on veut approfondir.

Suivant le niveau relatif des surfaces des lagunes et des marées, les quantités de troubles tenues en suspension par les couches du flot qui recouvrent les lagunes, les exigences de la navigation et les circonstances locales, on prendra l'un des partis suivants pour faire passer les eaux du flot sur les lagunes :

Pl. 103. Fig. 328, 329. — Pl. 105. Fig. 332. 1° Faire entrer les eaux du flot dans les lagunes, comme au port de commerce de Lorient, par le même débouché que le jusant traverse, c'est-à-dire à l'*origine amont* de la jonction des lagunes avec les chenaux. Ce moyen produira une accélération dans la vitesse du flot. Mais suivant la grandeur des chenaux, il pourra aussi en résulter une moindre ascension de l'eau sur les lagunes et des altérations dans le régime de l'*étale* et des courants ;

2° Faire épancher dans les lagunes l'eau du flot directement, par *déversoirs d'un grand débouché* placé à l'origine *aval* des zones de jonction de ces lagunes avec les rades ou chenaux *secondaires ;*

3° Combiner ensemble ces deux modes d'introduction du flot dans les lagunes, de manière à déplacer les anciennes lignes de *faîte ou de partage* des eaux au profit des chenaux qu'on veut approfondir.

Les endigages *submersibles* indiqués dans la vingt-cinquième leçon sont aussi susceptibles d'applications dans certaines rades foraines ou intérieures qui présentent des

passes *principales et secondaires*. Ces endigages, par leur direction, leur espacement, leur hauteur au-dessus des basses mers, devront toujours satisfaire à la condition de ne pas troubler essentiellement la marche *du flot* dans les passes secondaires, tout en portsnt une plus forte partie des eaux du *jusant* dans les passes principales. Il sera prudent d'effectuer toujours des essais préalables. Quelques lignes de pieux, établies à faux frais suivant diverses directions, donneront des aperçus sur le tracé le plus convenable pour les digues submersibles *définitives*. Ces digues elles-mêmes devraient être construites sur les dimensions minimum de longueur et de hauteur; et progressivement, par voie d'expérimentation, on parviendrait à régler leurs dimensions permanentes.

Il n'y a encore que peu de faits recueillis sur cette matière épineuse, et ce n'est que depuis peu d'années qu'on a reconnu que des endiguements de lagunes, des barrages de chenaux et de criques, conçus et exécutés dans des vues d'amélioration de la navigation, de desséchements au profit de l'agriculture, avaient eu une influence funeste sur le régime local des marées, la marche des alluvions, sur des atterrissements dans des ports voisins, et même sur la navigation de cabotage.

On parlera plus bas, dans une antre leçon, des moyens employés pour enlever les dépôts *alluvionnaires* déjà formés.

*Des jetées riveraines aux chenaux d'entrée des ports à marées.*

D'après les principes exposés dans la trente et unième leçon, t. II, p. 268 et 269, l'entréedes ports, indépendamment de toutes considérations de défense militaire, a besoin d'être rétrécie antant que le permettront les besoins de la navigation, moins pour atténuer l'effet direct du vent sur la nappe d'eau intérieure d'un port que pour amortir la propagation de l'agitation extérieure de la mer. C'est le résultat cherché dans tous les ports *sans marées* par les môles d'abritement, dont il sera question ultérieurement.

Mais dans les *ports à marées*, où souvent les directions du flot et du jusant sont opposées à celles des vents favorables à l'appareillage on au retour des navires, il faut pourvoir en outre à cette circonstance par le halage ou le *touage*. De là l'établissement de *chemins insubmersibles* s'avançant en mer, tantôt sur une seule rive de la ronte des navires, tantôt sur les deux. Ce sont ces chemins qui ont pris le nom de *jetées*.

Les premières n'étaient que de simples passerelles insubmersibles en bois, dont on garantissait les parties immergées par un bordé contre les chocs des navires, les courants de flot et de jusant, et contre les effets de la mer.

La tête de ces jetées était d'ailleurs élargie et arrondie en *musoir*, et placée à un niveau plus élevé de $0^m,60$ à 1 mètre que le reste de la longueur dans le triple but: de procurer plus d'espace aux marins dans les tempêtes, et pour le sauvetage des navires *affalés;* d'opposer une plus grande résistance à la mer, et d'y pouvoir établir des feux de port ou des batteries défensives.

Dans un port où les eaux ne sont point chargées de troubles, où le sol résiste à l'ac-

tion des courants de flot et de jusant et aux vagues, le tracé des jetées, leur disposition et espacement dépendraient principalement de considérations nautiques et commerciales, telles que le tonnage et la destination de la pluralité des navires entrants et sortants; la direction des vents régnants et des coups de vent, celle des courants de flot et de jusant aux atterrages des ports; secondairement, du plus ou moins de facilité d'exécution et du plus ou moins de durée des jetées elles-mêmes.

On peut lire dans les œuvres de Décessart, dans les mémoires de MM. Lamblardie père et fils, et dans l'*Histoire du Havre* par M. l'ingénieur Frissart, la diversité des opinions émises sur le mérite nautique des nombreux tracés d'entrée et de jetées proposés pour les ports du Havre et de Dieppe.

Ainsi on avait projeté au Havre des tracés curvilignes ou polygonaux, dans la supposition qu'ils contribueraient à diminuer l'agitation de la mer dans le port lors des gros temps. D'autres voulaient pratiquer l'entrée presque perpendiculairement à la direction des vents régnants et à celle du chenal existant. Tantôt on allongeait la jetée du nord, tantôt celle du sud. Aujourd'hui la jetée du nord du côté des alluvions s'avance en mer à 240 mètres plus loin que la tête de la jetée du sud.

Pl. 105. Fig. 546.

Quelques auteurs ont recommandé de diriger l'entrée d'un chenal vers le large, sous un angle d'environ 67° avec la direction des vents dominants, parce qu'un bâtiment ne pourrait avancer contre le vent avec une obliquité moindre. D'autres ont indiqué un angle de 10 à 15° comme le plus convenable entre l'axe des jetées et la direction du vent dans les gros temps. Aux jetées de l'embouchure de l'Adour, à la barre de Bayonne, cet angle est de 12°.

Pl. 102 et 105. Fig. 524 et 548.

Au port de commerce de Cherbourg, ouvert au nord, où les vents régnants sont ceux du sud, sud-ouest et ouest, et où les gros temps correspondent aux aires de vents comprises entre le nord-ouest et le nord-est en passant par le nord, les jetées parallèles entre elles ont été dirigées vers le nord. Mais la nouvelle jetée de l'ouest, dont le musoir de tête ne devait être, d'après les vues de la commission de 1792, que de 146 mètres en arrière du musoir de la nouvelle jetée de l'est, a été définitivement arrêtée à 250 mètres en deçà par le motif suivant. La pluralité des navires appareillant vers l'*ouest*, et souvent au nombre de 60 à 80 en une seule marée, et les brises du nord-est étant plus fréquentes et plus tenaces que celles du nord-ouest, il fallait éviter de restreindre le nombre des bâtiments appareillant *simultanément*, ou que ces navires, après avoir dépassé le musoir de la jetée est qui les abritait jusque-là, ne vinssent tomber sur celui de la jetée ouest.

Pl. 104 à 112. Fig. 534 à 570.

L'inspection des plans des divers ports fait voir que la plupart sont ouverts aux vents qui soufflent dans les gros temps, ou aux vents régnants.

Diverses fonctions et tracé des jetées.

Les jetées acquièrent un nouveau degré d'utilité à l'entrée des ports dont le fond est susceptible d'être entamé par les courants de flot et de jusant et par les vagues, et où le *thalweg* ne serait, sans elles, jamais stable. Le resserrement des eaux dans un canal invariable contribue à son approfondissement. Toutefois ici, comme aux embouchures des rivières, les déviations du thalweg reparaîtront au delà des jetées

Enfin, et c'est là le cas le plus fréquent dans les ports de la Manche et le plus compliqué, les jetées sont appelées à faire fonctions :

1° D'endigages destinés à diminuer les dépôts des troubles tenus en suspension dans l'eau ;

2° D'épis saillants qui arrêtent le cheminement des alluvions le long des côtes.

Comme les épis ordinaires, les jetées ne sont alors que des palliatifs, ainsi que l'attestent les jetées de Dunkerque, de Dieppe, du Havre, dont le prolongement progressif, très-coûteux, fâcheux sous le point de vue nautique, ne ferait que retarder le comblement des ports, si l'action des chasses artificielles et surtout celle du curage ne venaient s'y joindre.

Le tracé des jetées servant à la fois de môles d'abritement, de chemins de halage ou de touage, d'endigages et d'épis, est une des questions épineuses de l'art de l'ingénieur. Les coudes prononcés, les angles saillants dans l'intérieur des chenaux sont repoussés par toutes les conditions de la question. Mais souvent la direction qui serait la meilleure sous le rapport *nautique* serait précisément celle qui favoriserait l'introduction et le dépôt dans le chenal des matières alluvionnaires. Un alignement rectiligne est le plus convenable pour le touage et l'appareillage ; mais l'expérience a prouvé qu'il ôtait aux courants de jusant et à ceux des chasses artificielles qui s'y joignent, une grande partie de leur action sur les *pouliers* de galets et de sable qui ont dépassé les têtes des jetées.

Feu M. Lamblardie père, dans son *Mémoire sur les côtes de la haute Normandie*, prescrivait pour l'intérieur de la jetée, du côté d'où viennent les alluvions, une *courbure convexe* vers l'axe du chenal, pour que les courants indiqués ci-dessus, au lieu de glisser sur les pouliers, les entamassent. Cette courbure a été récemment adoptée pour le prolongement des jetées du port de Dieppe. Pl. 118. Fig. 604. Pl. 104. Fig. 543.

Le parallélisme et même la divergence des jetées vers le large ont été adoptés dans un grand nombre de ports. Au même port de Dieppe, on a préféré la convergence pour les nouveaux prolongements, et toujours dans le but de renforcer l'action des chasses naturelles et artificielles.

Enfin, telle direction de jetées qui satisfait le mieux à toutes les conditions locales expose ces ouvrages eux-mêmes à toute la violence de la mer, rend leur construction plus difficile et plus dispendieuse, leurs réparations plus fréquentes, et fait acheter ainsi à un prix plus élevé les avantages cherchés.

Les jetées les *plus saillantes* s'avancent en mer jusqu'à la ligne des basses mers de vive eau ordinaire et même d'équinoxes. Au delà, la dépense de leur établissement et de leur entretien croîtrait bien plus rapidement que leur utilité pour la navigation.

Mais la *quotité* de la différence de saillie des deux jetées vers le large, le sens de cette différence, ne peuvent être fixés d'une manière absolue, et dépendent des circonstances locales. Seulement il est évident que, dans les ports sujets aux alluvions, la jetée du

côté d'où elles arrivent doit être la plus saillante des deux, sauf à suppléer par des corps morts, meulos et bouées d'amarrage à la moindre saillie de la jetée de l'autre rive du chenal.

On reconnaîtra par ce qui précède qu'il est impossible de poser des principes généraux pour le tracé et la disposition des jetées. Dans chaque localité, il faudra étudier avec soin le programme des conditions à remplir, et surtout s'entourer des avis des armateurs, pilotes et hommes de mer expérimentés.

Débouché des passes d'entrée.

On a vu, par la description et les plans des principaux ports, que le débouché des passes varie depuis 20 mètres jusqu'à 80 mètres. Il dépend de la grandeur des navires *admissibles* dans chaque port, de leur affluence à certaines époques, de leur largeur au maître bau, ou plutôt de la saillie de leurs *vergues* au delà de chaque bord.

40 à 50 mètres de débouché suffisent pour les ports marchands ; 60 à 90 mètres seront nécessaires pour les ports exclusivement militaires ou *mixtes*. On se donne ordinairement pour règle qu'il y ait passage simultané et de *front* pour trois navires sous voiles de la grandeur la plus habituelle dans la localité.

Submersibilité ou insubmersibilité du dessus des jetées.

A l'origine et pour des motifs d'économie, on s'était borné dans les ports à n'établir qu'une seule jetée insubmersible, et sur la rive du chenal, située du côté d'où venaient les alluvions ; sur l'autre rive, une jetée *basse* submersible s'arrêtait au niveau des basses mers de moindre morte eau ; cela avait paru suffisant pour guider les eaux du jusant et des chasses. Mais d'abord par cette disposition le chenal n'était pas abrité contre les tempêtes de ce côté ; bien plus, la jetée basse augmentait à haute mer le ressac et l'agitation. Le touage devenait impossible en cas de réparations de la jetée unique, ou quand le gros temps en interdisait le parcours. Les jetées basses, même *balisées*, étaient la nuit une sorte d'écueil placé sur la route des navires. Enfin, elles facilitaient jusqu'à un certain point le retour dans la passe des alluvions qui en avaient dépassé l'entrée, particulièrement dans les ports où le flot arrivait du côté des *jetées basses*, et surtout lorsqu'il y avait une *saute* de vent subite dans la même direction.

La plupart des jetées basses ont été surmontées depuis par des reliefs insubmersibles, dont elles sont devenues les *risbermes* ou radiers de défense.

Le dessus des jetées insubmersibles doit être au moins à 1 mètre au-dessus du niveau des hautes mers d'équinoxe ; et cette dimension, suivant l'agitation de la mer dans la localité, pourra être portée jusqu'à 2 et même 3 mètres. La plate-forme du musoir, ou tête de la jetée vers le large, est toujours d'ailleurs établie plus haut, ainsi qu'il a été dit ci-dessus. Il est oiseux de recommander que des moyens d'écoulement d'eaux pluviales et autres soient réservés sur le dessus des jetées.

Continuité ou discontinuité des jetées.

Les jetées, si elles ne servent que de chemins de halage, peuvent, sans inconvénients graves, présenter dans beaucoup de ports une succession de pleins et de vides. Seulement, suivant l'agitation de la mer et le genre de construction adopté, il pourra être plus économique de n'avoir point de vides.

Coupures dites claires-voies.

Mais lorsque le chenal est ouvert à la mer dans les gros temps et que l'agitation en rendrait le trajet difficile, feu M. Lamblardie père recommande de ménager dans les

jetées, de distance en distance, des coupures dites *claires-voies*, en arrière desquelles soient des enceintes d'eau tranquille, dont le fond et les parois d'entourage soient dressés en plans inclinés très-allongés. Les plans du port de la Manche en représentent plusieurs. Quand cela est praticable, les coupures de l'une des jetées correspondent aux pleins de la jetée opposée. Des *passerelles* ou *tillacs* pour le halage franchissent ces coupures, qui sont quelquefois aussi fort utiles pour *cantonner* les alluvions. Pl. 104. Fig. 534, 537, 543. Pl. 105, 545 et 546.

Les jetées servant à la fois de chemins de halage et d'endigages riverains doivent, sauf les coupures à *claire-voie*, être continues comme les jetées basses, au moins jusqu'au niveau des basses mers de moindre morte eau. Au-dessus de ce niveau, l'option entre une surface pleine et continue, et une succession de pleins et de vides, dépend principalement du genre de construction et des chances d'avaries.

Mais lorsque les jetées forment *épis*, elles sont évidemment continues, au moins jusqu'au-dessus du niveau qu'atteignent les amas d'alluvions. Dans ce cas, la jetée de la rive opposée aux alluvions pourrait, suivant les localités, être pleine et continue, ou formée de pleins et de vides; car si la continuité tend à resserrer les courants de jusant et des chasses artificielles, elle empêche aussi les vagues d'agir sur le fond du chenal et d'en *labourer* les atterrissements. L'on serait conduit par cette considération à la fermeture facultative des pertuis réservés.

Section transversale des jetées.

Le profil transversal des jetées, dans l'intérêt de la navigation, doit présenter vers l'intérieur de la passe des parois aussi abruptes que possible d'après le genre de construction adopté; les échouages en seront moins à craindre et le touage sera plus facile. Des parapets de $0^m,80$ de hauteur au moins, et auxquels on a donné jusqu'à 2 et 3 mètres, sont nécessaires sur les deux rives pour prévenir les accidents et la chute des paquets d'eau de mer sur la plate-forme. Une ligne de poteaux en bois, ou mieux encore de canons en fonte de fer, équidistants d'environ 20 à 30 mètres, doit être établie dans l'axe longitudinal des jetées pour les amarrages et retours d'*embarquement*. Le débouché libre entre les parapets ne saurait guère être au-dessous de 2 mètres, indépendamment de toute considération de résistance. Les dimensions, sous ce dernier rapport, seront calculées du reste d'après les bases posées dans les trente-deuxième et trente-quatrième leçons, t. II, pages 286, 287, 261 et 262.

Les jetées exécutées varient depuis 3 mètres jusqu'à 11 mètres de largeur de dedans en dehors.

Si ces constructions devaient servir aussi à l'accostage des navires et à des opérations de chargement et de déchargement, la largeur de leurs terre-pleins serait réglée d'après ces nouvelles destinations, et serait au moins de 8 mètres. Dans ce même cas, les parois des jetées du côté du chenal présenteraient, comme les quais des ports, des masques de défense en bois; des boucles d'amarrage au niveau des hautes mers de vive eau, espacées de 20 à 30 mètres et rabattues dans des enclaves; des escaliers et rampes de descente dirigées parallèlement à la longueur des jetées, et en arrière du nu de leurs

parements. Enfin la plate-forme serait munie de distance en distance de *bigues* ou grues de déchargement.

Dans *tous les cas*, les parois intérieures et extérieures devront avoir, au moins de 50 mètres en 50 mètres, des échelles verticales de *sauvetage* refouillées dans les parement. Les échelons sont ordinairement en cuivre rond forgé.

Musoirs des jetées. L'excédant de largeur de la plate-forme des musoirs sur celle des jetées a été tantôt réparti symétriquement à droite et à gauche de l'axe des jetées, tantôt reporté tout entier en dedans du chenal ou en dehors. Cette dernière disposition est la meilleure pour le touage, si l'on a soin d'effectuer le raccordement par des courbes allongées. La largeur des musoirs en dedans des parapets, à moins de sujétions spéciales, est d'ordinaire de 7 à 8 mètres, et leur longueur dans l'axe est de 25 mètres au moins.

*Système de construction des jetées.*

Dans le choix du système de construction des jetées, il faut se rappeler d'abord leur destination, puis remarquer que les musoirs et les zones intérieures de ces ouvrages ne sont pas *également* exposés aux attaques de la mer ; que celle des deux jetées qui est du côté des tempêtes habituelles sert de môle d'abri à l'autre ; que les alluvions qui s'amoncellent sur les flancs extérieurs des jetées formant épis, les protégent contre la mer; enfin que ces ouvrages sont susceptibles d'être fondés à basse mer. D'ailleurs l'action sur le fond du chenal des courants de flot et de jusant et des chasses artificielles, celle des vagues dans les gros temps doivent être prévues.

Les considérations présentées dans la trente-quatrième leçon, la nature du sol, l'abondance et le bas prix de telle ou telle espèce de matériaux, les fonds alloués, les limites de temps et d'exécution et de durée des ouvrages, les facilités d'entretien et de grosses réparations, les conséquences plus ou moins graves pour la navigation des avaries qui interrompraient le service des jetées, sont les éléments principaux du choix dont il s'agit.

Les jetées les plus anciennement connues paraissent être celles en enrochements, en fascinages, en coffrages de charpente. On a exécuté ensuite des jetées en maçonnerie de pierres sèches, et les jetées en maçonnerie de mortier hydraulique ont été le terme le plus élevé de cette progression.

On cite parmi les jetées en enrochements celles qui avaient été exécutées à Ostende par M. l'ingénieur Raffeneau de l'Isle, sans cadres en charpente, avec talus extérieurs de 3 mètres de base pour 1 de hauteur, et qui subsistaient encore vingt-six ans après. Pl. 118. Fig. 605. Ce mode, qui est représenté figures 605 des planches, a été appliqué assez récemment à la nouvelle jetée du sud-ouest du port de Boulogne, mais sans y obtenir le même succès. A mesure que le massif d'enrochements s'élevait au-dessus des eaux, il éprouvait des avaries qui, dans la saison des tempêtes, se succédaient sans interruption, en faisant disparaître les matériaux dans les affouillements au pied des jetées (*Moniteur* du 3 avril 1835). Cette circonstance et la difficulté d'obtenir des pierres d'un volume suffi-

sant ont déterminé à exécuter toute la longueur de la jetée à claire-voie; le radier et la risberme ont été formés par les parties inférieures des enrochements subsistants.

Les jetées en fascinages ont été autrefois très-employées dans la Flandre et la Hollande, par suite de l'abondance des matériaux élémentaires. Les figures 579 des planches représentent une ancienne jetée du port de Dunkerque. Le chemin de halage y est en saillie, et une large risberme de défense anticipe sur le chenal. Ces dispositions sont fort défectueuses. Les figures 606 des planches indiquent les jetées du nouveau port de Nieuwediep ou du Helder en Hollande. Pl. 113. Fig. 579. Pl. 118. Fig. 606.

Les jetées en charpente, suivant leurs fonctions, ne sont que des passerelles en bois avec radiers généraux sur les fonds affouillables, telles que celles des figures 607 des planches; ou des coffrages remplis sur tout ou partie de leur hauteur. Pl. 119. Fig. 607.

Le profil transversal des fermes doit présenter un canevas décomposé en triangles, et les fermes sont reliées longitudinalement par des cours de ventrières ou de moises, et par quelques pièces en écharpe. Le bord des parois du coffrage a été placé dans quelques jetées à l'intérieur, dans d'autres à l'extérieur; et dans les ouvrages les plus récents, on a bordé à la fois au dehors en surface lisse et pleine, et en dedans avec madriers séparés par des *mailles*.

Suivant la nature du sol, les jetées reposent directement sur le sol, au préalable refouillé, ou sur un grillage simple en charpente avec bordé, ou sur grillage avec pilotis et bordé.

Les figures 608 des planches représentent plusieurs anciennes jetées en charpente de Dunkerque, les jetées de Calais, celles de Tréport; celles de Dieppe, exécutées par M. l'ingénieur Tarbé de Vauxclairs, aujourd'hui inspecteur général des ponts et chaussées; les jetées construites à Ambleteuse et à l'embouchure de l'Adour par M. l'ingénieur Debaudre; enfin des projets de jetées faits pour le Havre. Pl. 119 et 120. Fig. 608.

On remarquera dans quelques-uns de ces ouvrages une crèche extérieure en palplanches jointives, ayant pour objet de prévenir les affouillements dans un fond sablonneux ou vasard. Dans quelques autres, les risbermes ont une saillie beaucoup trop considérable, qui rétrécit le débouché de la passe, forme écueil pour les navires et augmente l'agitation dans les gros temps.

L'intérieur des coffrages est rempli de moellons, rocaille ou terre argileuse, et même de paille, de roseaux ou de *varech*. Il est évident qu'on pourrait y substituer avec avantage du béton ou de la maçonnerie de mortier hydraulique. Mais une jetée faite *a priori* en maçonnerie serait préférable, à raison de la solution de continuité que les fermes en charpente produiraient.

Les jetées en maçonnerie à mortier hydraulique sont maintenant adoptées de préférence pour les ports de quelque importance, et lorsque les matériaux ne sont pas à un prix exorbitant. On a du reste reconnu au Havre que les parties des jetées exposées au batillage des vagues et au frottement des galets ne pouvaient être revêtues qu'en granit, et que les pierres calcaires y étaient usées avec une grande rapidité.

Les jetées discontinues en maçonnerie sont faites comme les ponts en charpente, avec piles en pierre, et les jetées continues sont des terre-pleins avec quais le long des rives. Les parements, pour opposer une résistance uniforme à la mer, sont exécutés en pierre de taille dans les zones intérieures et extérieures les plus exposées. Tout ce qui a été dit sur les fondations des ponts et des quais s'applique aux jetées; seulement les *radiers-risbermes*, dans les *coupures à claire-voie*, ayant à résister dans deux sens différents aux courants des marées et à l'action des vagues, exigent ici plus de soins que les radiers généraux des ponts. Une enceinte de palplanches est d'ailleurs préférable à une risberme en saillie.

Lorsque les jetées en maçonnerie sont à leur minimum de largeur transversale, on ne saurait hésiter à les exécuter en un seul massif. Mais si cette largeur excède 6 mètres, on forme la jetée de deux murs distincts, reliés de distance en distance par des murs de refend ou contre-forts. Les cases intérieures sont remplies en terre glaise bien battue, que l'on couronne au niveau de la plate-forme de la jetée par un pavage épais en maçonnerie hydraulique. Sans cette précaution, les eaux de pluie et celles projetées par les *paquets* de lames à haute mer pénétreraient dans les massifs et y détermineraient des poussées du dedans au dehors, ou des vides dans le noyau de remplissage, ainsi qu'il est arrivé il y a quelques années lors de la construction de la jetée neuve de l'est du port de commerce de Cherbourg.

Pl. 120. Fig. 609. Les figures 609 des planches représentent les célèbres jetées de l'Adour, celles nord et sud du port du Havre, le mur d'enceinte de la Floride, au même port, qui est assimilable aux jetées, enfin les jetées récemment exécutées à Cherbourg par MM. les ingénieurs Leroux et Virla.

La liaison des parapets aux murs des jetées du Havre a été faite avec beaucoup de soin par M. l'ingénieur Frissart. Il conseille de placer le nu des parapets du côté du chenal au moins de $0^m,20$ en arrière du nu des parements des murs inférieurs, pour prévenir les dégradations par le choc des navires.

On fait remarquer que le plan de fondation des jetées du Havre et du mur d'enceinte de la Floride est à environ $0^m,60$ en contre-bas des basses mers d'équinoxe; cette côte est de $0^m,85$ aux nouvelles jetées du port de commerce de Cherbourg, fondées sur un massif de béton reposant sur le sable.

Au mur d'enceinte de la Floride, la maçonnerie dans le sens vertical est subdivisée par des plates-formes horizontales en pierres de taille ou en libages smillés, qui ont eu évidemment pour objet de préserver des atteintes de la mer les diverses couches de maçonnerie immédiatement après leur pose.

La construction des jetées, surtout dans leurs zones inférieures, est un travail de marées dans lequel il faut tout sacrifier à la rapidité d'exécution et dans un but final d'économie. Tous les matériaux doivent être prêts pour la pose avant qu'on y mette la main.

La régularité et la précision des moteurs inorganiques s'accordent mal avec les

exigences si variables et si brusques des fondations à la marée; on est donc forcé de recourir exclusivement à la force brute des hommes ou à celle des animaux, dont l'intensité se modifie presque instantanément.

Les épuisements, surtout pour les fouilles et l'exécution des encaissements de fondations, doivent être sur une grande échelle et pourvus de nombreux rechanges et relais; sinon il arrivera ce qui n'est que trop souvent arrivé, que les épuisements terminés, il reste à peine quelques instants pour le travail principal, lequel est alors ajourné au moins à quinze jours et quelquefois à plus d'un mois, suivant les circonstances des marées et du temps.

On rappelle d'ailleurs ce qui a été dit à la trente-quatrième leçon, t. II, pages 354 et 357, sur les conditions de réussite des ouvrages de maçonnerie à la mer; et qu'il est préférable de s'arrêter aux assises inférieures quand on ne peut atteindre rapidement et dans la belle saison le couronnement de l'ouvrage, plutôt que de s'élever au niveau du plan moyen des marées et des hautes mers de morte eau, où les chances d'avaries sont le plus redoutables.

Lorsqu'une enceinte ou crête de palplanches doit envelopper la fondation; on commence par la former avant d'entreprendre la tranchée, dont les rives sont plus tard soutenues par ce coffrage en bois. A défaut de cet appui, on pratique les fouilles en gradins. Aux travaux de fondations actuellement en exécution au port de commerce de Cherbourg, pour les murs de raccordement avec la jetée de l'ouest, on a été forcé de revêtir les gradins coupés dans le sable fluent du sol, par des piquets et des branches de fougères, d'ajoncs, ou par des piquets et planches en dedans desquels on garnissait en terre glaise.

A ces mêmes travaux, on s'est servi avec le plus grand succès de vieilles toiles ou de paillassons chargés par des saumons de fonte de fer, pour recouvrir, pendant l'hiver de 1838 à 1839, les surfaces des massifs de fondations de béton pendant leur durcissement et pour prévenir leur délavage par la mer. Le fond de la tranchée était également recouvert de toiles partout où il y avait des sources de fond qui auraient soulevé le béton de bas en haut ou se seraient frayé un passage à travers.

Les jetées basses ou submersibles sont exécutées comme les radiers et risbermes des jetées submersibles. Ainsi qu'il a été dit, leur dessus ne dépasse par ordinairement le niveau des hautes mers de morte eau. Les avaries en cas d'échouage étant d'autant plus dangereuses pour les navires que la jetée basse est *plus étroite*, celle-ci, quand les circonstances locales s'y prêtent et qu'il n'y a pas de retours d'alluvions à craindre, ne doit être en quelque sorte que le soutènement vers le chenal d'une grande plage artificielle riveraine. Par les mêmes considérations, le mode de construction des jetées basses le plus compressible et le plus élastique est le meilleur. On les exécute ordinairement en fascinages, ou en coffrages de bois recouverts d'un bordé, ou en combinant ces deux genres de constructions. Jetées basses ou submersibles.

Les figures 610 des planches en fournissent plusieurs exemples : on y a compris les jetées basses du Helder en Hollande. Pl. 121. Fig. 610.

Claires-voies avec brise-lames en arrière.

Les enceintes en arrière des claires-voies ou coupures ménagées dans les jetées, ayant pour objet d'amortir les vagues en leur ouvrant une grande étendue pour se développer, doivent présenter leur plus grande dimension dans le sens transversal à l'axe du chenal; leur fond et leurs rives doivent être des plans inclinés très-doux ; on en a fait de 17 de base sur 1 de hauteur.

Le pont de halage qui franchit les coupures est à grandes travées avec piles ou palées peu épaisses pour ne pas rétrécir le débouché et éviter les affouillements, si le sol n'est pas résistant.

Pl. 121. Fig. 611.

La figure 611 des planches représente la claire-voie avec enceinte d'eau exécutée au port d'Ambleteuse.

Brisants des jetées ou contre-jetées.

Lorsque les parois *extérieures* des jetées sont exposées normalement ou obliquement à l'action de violentes tempêtes, elles sont défendues, comme le sont les digues de Hollande, par des brisants ou contre-jetées établis à 50 ou 60 mètres au large et parallèlement, et destinés à amortir le premier choc des vagues. Bélidor préfère ce moyen aux enrochements dont on recouvre le pied des jetées et môles. Les brisants peuvent être en lignes continues, comme ceux des figures 612, observés par feu M. Sganzin dans son voyage en Hollande, et être exécutés comme eux soit en bois avec enrochements, soit en maçonnerie de pierres sèches à profil triangulaire de $0^m,80$ à 1 mètre de largeur au sommet.

Pl. 121 et 122. Fig. 612.

On peut encore y substituer un échiquier de plusieurs lignes de pieux non bordés, ou de cylindres et cônes en maçonnerie de mortier.

Les brisants, selon les localités, ne s'élèveraient qu'au niveau des hautes mers de morte eau ou au-dessus des hautes mers d'équinoxe.

### *Des brise-lames et môles d'abritement.*

Les brise-lames et môles ont pour objet de produire le calme dans l'intérieur des rades et des ports : 1° en arrêtant sur tout leur développement la propagation de l'agitation extérieure vers l'intérieur; 2° en rétrécissant l'entrée des rades et des ports; 3° en diminuant l'action directe du vent sur la nappe d'eau intérieure.

Quelques-uns de ces ouvrages ont été quelquefois destinés, comme les jetées, à faire les fonctions des chemins de halage et celle d'épis pour arrêter le cheminement des matières alluvionnaires. Ils servent souvent aussi, comme au port militaire de Toulon, de quais de déchargement et d'embarquement, et de terre-pleins pour les opérations d'armement et de désarmement.

On appelle plus spécialement *brise-lames* les ouvrages d'abritement des rades, et môles ceux d'abritement des ports; les uns et les autres peuvent être isolés ou enracinés dans les côtes. Les jetées des ports de la Manche tiennent aussi lieu de môles.

Les brise-lames les plus importants sont la digue de Cherbourg, le *breakwater* de Plymouth, et celui qui est en exécution à l'embouchure de la Delaware aux États-Unis.

Les môles se rencontrent dans un grand nombre de ports de l'Écosse, dans quelques ports français de l'Océan, tels que Granville, Saint-Malo, Roscoff, Donarnenez, Sauzon ; mais ce genre d'ouvrages abonde surtout dans les ports de la Méditerranée.

Dans une rade ou à l'entrée d'un port, dont les eaux ne tiennent aucuns troubles en suspension, et dont le fond n'est pas susceptible d'érosions, le tracé et la disposition des môles ne dépendraient principalement que de considérations commerciales, nautiques et militaires. Connaissant la directiou des vents dans les gros temps ; les profondeurs d'eau des diverses zones ; le gisement d'îles, rochers, écueils submersibles ou insubmersibles qu'on pourrait utiliser comme brisants de défense ou comme points d'appui des môles à construire ; l'étendne du mouillage on des zones de stationnement nécessaires au nombre maximum de navires d'une grandeur donnée, on parviendrait à circonscrire le champ des recherches et des diverses combinaisons praticables. Il ne resterait plus qu'à fixer le nombre et la position des passes, d'après les exigences de la navigation, le régime des dénivellations des marées, celui des courants périodiques et permanents, et d'après les époques de reversements des uns et des autres. Dispositions générales des môles.

Dans les localités où les vents régnants soufflent dans une *direction opposée* à celle des coups de vent, une passe unique dirigée dans ce dernier sens est généralement préférable ; car la sortie sera facile dans les circonstances *où elle pourrait avoir lieu*, tandis que les bâtiments surpris au large par la tempête ne courraient aucuns risques en venant chercher un refuge.

Mais si les vents régnants sont en même temps ceux qui déterminent le gros temps, que les courants périodiques et alternatifs des marées on autres ne puissent aider les navires à les surmonter, on sera conduit à ménager deux passes : l'une pour l'entrée dirigée à peu près dans le sens des vents régnants, et l'autre pour la sortie ouverte en sens opposé, ou suivant un axe à peu près perpendiculaire sur le précédent ; à moins qn'on ne préférât une passe uniqne pour l'entrée que les bâtiments remorqueurs feraient franchir ponr la sortie.

Les facilités techniques de construction et d'entretien des môles entrent d'ailleurs en ligne de compte dans les études dont on vient d'indiquer les principaux points.

La question à traiter, déjà fort grave dans l'hypothèse où l'on s'est placé, se complique au plus haut degré dans les rades et les ports dont les eaux tiennent en suspension des matières alluvionnaires, ou en *tiendraient ultérieurement* par suite de la construction même des môles. Car un ouvrage quelconque, saillant ou isolé dans la mer, modifie nécessairement le régime des courants, celui des marées, l'action des vagues dans les gros temps, et la position des zones d'eaux stagnantes et calmes.

De ces modifications peuvent résulter soit un développement plns rapide des atterrissements existants, soit leur déplacement sur d'autres points, soit même la formation d'*atterrissements* dans une rade ou un port où il n'y en avait pas eu avant l'établissement du môle.

Il est même présumable que les zones du mouillage attenantes à l'intérieur de ces

môles, précisément parce qu'elles sont les plus calmes, seront les plus exposées aux atterrissements.

Or, le manque de profondeur d'eau est un mal permanent très-grave, qui affecte tous les temps et tous les navigateurs, qui peut anéantir à la longue la prospérité du commerce dans un port et dans les côtes limitrophes; tandis que les sinistres causés par les tempêtes dans une rade même foraine sont des événements assez rares qui ne frappent que sur un petit nombre et auxquels il est pourvu par une faible prime d'assurance maritime.

Un curage permanent obvierait à la vérité au comblement d'une rade ou d'un port; mais la dépense annuelle en pourrait être de beaucoup supérieure à la prime d'assurance maritime. Les ruines d'anciens ports et l'histoire apprennent d'ailleurs que ce moyen, toujours abandonné ou suspendu dans les périodes de crises politiques et commerciales, n'a point empêché un grand nombre de ports célèbres de l'antiquité et du moyen âge de disparaître sous les atterrissements.

La notice qu'on a donnée sur le port de Cette fournit des exemples frappants de l'influence funeste des ouvrages d'art sur la marche des atterrissements dans certaines localités; et cependant à Cette il n'y a point de marées pour ainsi dire, ni de courants périodiques de flot et de jusant, et le courant littoral y est d'une très-faible vitesse. Enfin l'exemple des bons résultats qu'avaient eus les môles de Civita-Vecchia sur la rive opposée de la Méditerranée pouvait être allégué en faveur des dispositions analogues prises à Cette.

**Système des môles tronçonnés.**

M. Fazio, ingénieur italien, inspecteur général des ponts et chaussées du royaume de Naples, dans plusieurs mémoires publiés en 1828 et 1832, et dont la traduction par M. l'ingénieur Lemoyne a été insérée dans les *Annales des ponts et chaussées de* 1834 et 1837, a traité avec étendue et érudition l'importante question de l'influence des môles sur les atterrissements.

Cet auteur, d'accord en cela avec Bélidor et feu M. Lamblardie père, reconnaît que sur les atterrages déjà sujets à des dépôts d'alluvions, il est impossible d'en arrêter le développement par aucun ouvrage d'art. Mais pour prévenir la formation d'*atterrissements* dans une localité qui n'y *était point exposée*, il recommande, particulièrement pour les môles saillants sur les rives, un système dont il a retrouvé des vestiges dans plusieurs ports d'Italie, notamment dans celui de Pouzzoles, et dans divers monuments historiques.

Pl. 122. Fig. 613.

Ce système consiste à tronçonner les môles par de nombreuses coupures dont la fermeture étant facultative au moins jusqu'à une certaine profondeur en contre-bas de la surface de l'eau, donnerait ainsi la possibilité d'arriver par une longue suite de tâtonnements à une espèce de *tempérament* ou de *moyen terme*, qui, en atténuant suffisamment l'agitation intérieure dans les gros temps, laisserait cependant aux courants et aux vagues assez de jeu pour que les troubles restassent en suspension *comme avant l'établissement du môle.*

M. Fazio cite l'ancien port de Misène, comme présentant une variante fort remarquable

de ce système. Elle consistait en deux môles tronçonnés presque juxtaposés parallèles et en avant l'un de l'autre, et disposés de manière que les vides de la file du môle intérieur correspondaient aux pleins du môle extérieur, et *vice versâ*.

M. l'ingénieur Fazio paraît avoir obtenu du gouvernement napolitain l'autorisation d'appliquer ses vues à la restauration du môle de Pouzzoles et au nouveau môle isolé de Trani, représenté figures 614 des planches. Dans le premier, les vides et les pleins alternatifs auront $12^m,5$ et 19 mètres de largeur dans le sens de l'axe du môle, et la largeur transversale de la plate-forme au couronnement sera de 13 mètres. Dans le second, les vides et les pleins auront 4 mètres et $5^m,20$, et la largeur transversale de la plate-forme au couronnement sera de $7^m,80$. Pl. 122. Fig. 614

La ligne de cônes se touchant base à base que M. Decessart avait proposée pour la digue de Cherbourg, et dont il avait commencé l'exécution, aurait eu beaucoup d'analogies avec les môles tronçonnés de M. l'ingénieur Fazio. Mais M. Decessart n'avait eu nullement en vue de prévenir les atterrissements. Il n'envisageait la question que sous des rapports techniques de construction, de solidité, de durée et de dépense, et la ligne de cônes que comme le meilleur mode, selon lui, d'arrêter les vagues avant qu'elles ne pénétrassent dans la rade, et de décomposer en plusieurs directions *la force incalculable de la mer* : ce sont textuellement ses expressions. Pl. 122. Fig. 615.

M. Lamblardie fils, dans les discussions qui eurent lieu de 1830 à 1832, sur le projet d'achèvement de la digue de Cherbourg dans la hauteur correspondante aux dénivellations des marées, était parti des faits connus : d'ensablements immenses sur la plage sud-est de la rade dite des Mielles; d'érosions énormes qui se continuent sur la côte sud-ouest de la rade dans la baie de Sainte-Anne, et de l'existence d'un vaste banc en dedans de la rade, dont la base est presque attenante à la passe de l'est, et dont la pointe est à l'ouest presque vers le fort central de la digue, et avait émis l'avis :

Que la muraille à construire sur les enrochements artificiels, et qui par sa hauteur correspondait précisément au jeu des marées et aux courants de flot et de jusant, présentât une suite alternative de pleins et de vides, et que par une série de tâtonnements ultérieurs on eût bouché successivement une partie des coupures jusqu'à la limite à laquelle l'on aurait remarqué un développement sensible dans le banc ci-mentionné, ou la formation d'atterrissements dans les zones de la rade destinées au mouillage et aux abords des passes.

L'exposé qui précède signale la gravité des considérations qui touchent à la question des môles d'abritement et l'impossibilité de fixer aucuns principes généraux.

Si l'on envisage d'ailleurs les difficultés techniques d'exécution et d'entretien, l'énorme dépense de quelques-uns de ces ouvrages (la digue de Cherbourg aura coûté plus de 18,500 fr. le mètre courant), on reconnaîtra que l'on ne saurait apporter trop de circonspection dans l'étude et l'examen des projets de brise-lames et de môles. Le concours des armateurs, des pilotes et des hommes de mer expérimentés y est plus nécessaire encore que pour des projets de jetées.

Quelques notes sur le tracé et les effets des brise-lames des rades de Cherbourg, de Plymouth et de la Delaware compléteront les notions générales sur les môles, disséminées dans la description précédente des principaux ports français.

Digue de Cherbourg.

Le mémoire publié par M. le baron Cachin présente l'historique des projets de disposition et de tracé de la digue de Cherbourg. On y voit:

Pl. 123. Fig. 616.

1° Les fâcheuses conséquences que l'absence de sondages détaillés a eues pour l'établissement de l'extrémité est de la digue vers l'île Pelée, et les conséquences plus graves encore qu'elle a failli avoir à l'extrémité ouest, où une roche, dite de *Chavagnac*, était restée ignorée.

2° Les considérations militaires qui furent alléguées contre un tracé de digue qui eût été plus au large de son emplacement actuel, lequel, sans augmentation notable *de longueur et de dépense*, eût accru dans une proportion considérable l'étendue du mouillage abrité pour les bâtiments du premier rang. Cette étendue n'est que d'environ 940000 mètres carrés à l'abri du vent du nord; et l'on admet généralement qu'on ne pourrait y mouiller par 10 mètres d'eau aux plus basses mers et sous la protection des forts que 36 à 40 vaisseaux de premier rang, sans parler toutefois des frégates et corvettes qui pourraient stationner par 7 à 8 mètres d'eau à basse mer dans les zones les plus rapprochées de la côte.

3° Les motifs de la disposition angulaire de 169° et de l'inégalité de longueur des deux branches est et ouest de la digue, lesquels ont été principalement de laisser à découvert le fort royal de l'île Pelée sur la côte est, et le fort de Querqueville sur la côte ouest. La branche ouest, de 2232 mètres de largeur, garantit particulièrement la partie centrale de la rade contre les coups de vent depuis le nord-ouest jusqu'au nord; celle de l'est, de 1536 mètres, abrite cette même partie contre les coups de vent bien plus fréquents et bien plus longs du nord au nord-est.

Mais la zone ouest de la rade et particulièrement la baie de Sainte-Anne resteraient exposées aux coups de vent du nord-ouest. Aussi, dès l'origine des projets on a reconnu l'utilité d'un môle saillant enraciné près du fort de Querqueville qui, se dirigeant vers le nord-nord-ouest, rétrécirait la passe ouest et en couvrirait les abords et l'intérieur.

4° Les diverses considérations invoquées successivement pour laisser la digue *submersible* jusqu'au niveau du tiers des marées ascendantes, puis à celui des hautes mers de mortes eaux ordinaires; ensuite pour son exhaussement à 3 mètres au-dessus des hautes mers de vive eau, enfin pour la cote définitivement adoptée de 3$^{m}$,80 au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe.

5° Les modifications que les courants de flot et de jusant avaient éprouvées dès que la digue a eu atteint le niveau des basses mers de vive eau.

Avant l'établissement de cet ouvrage, le courant de marée montante, après avoir traversé diagonalement la rade du nord-ouest au sud-ouest, arrivait aux rochers des *flamans* à l'est du port de commerce, et se divisait en ce point en deux autres courants. Le premier, remontant de l'est vers l'ouest, allait remplir le port de commerce et l'anse où est

le port militaire; l'autre s'infléchissait vers l'est pour sortir de la rade en passant entre l'île Pelée et la terre et en contournaut cette île au nord. Les courants de jusant, à la même époque, étaient, à peu de chose près, parallèles à la côte et en suivaient les contours, en formant cependant un remous à leur rencontre avec les roches de l'île Pelée. Ce remous portait le jusant vers le nord-est.

En 1823, à l'époque où M. le baron Cachin écrivait :

A la passe de l'ouest, le conrant de la marée se portait par le premier quart de flot du nord au sud sur les rochers de la baie Sainte-Anne, et se détournait progressivement vers le sud-est dans les trois quarts suivants; la marche du jusant était inverse du sud-est au nord-ouest, mais portait davantage sur les roches de Querqueville qu'avant les enrochements de la digue.

A la passe de l'est, il s'était manifesté un courant direct de flot qui, au premier quart, pénétrait dans la rade par le nord-ouest et se détournait pour ressortir vers l'est-nord-est. Les courants de jusant dans cette passe marchaient en sens inverse.

Depuis lors, l'exhaussement de la muraille de la branche de l'est a produit de nouvelles modifications dans le régime des courants. Elles sont exprimées dans le tableau ci-dessous.

Le flot et le jusant coulent parallèlement à la digue en dedans et en dehors, mais avec des circonstances fort remarquables.

Dans la *première moitié ouest de la branche ouest*, la mer est plus élevée au dehors de la digue qu'au dedans et les eaux du flot s'épanchent par-dessus les constructions, du nord vers le sud; au jusant, au contraire, la mer est plus élevée au dedans de la digue qu'au dehors, et la jonction se fait par une espèce de cascade du sud vers le nord, par-dessus les enrochements des fondations.

Des effets contraires ont lieu dans *la partie est de la branche ouest, et dans toute la branche est*. Au flot l'eau y est plus élevée au dedans de la digue qu'au dehors, et la jonction des eaux se fait par-dessus les enrochements de fondation par une *cascade* du dedans vers le dehors, tandis qu'au jusant la cascade se dirige du dehors vers le dedans. Elle y est tellement forte que, dans les *maçonneries en construction* à la branche est, elle délave les mortiers et déplace, même en temps de calme, les pierres comme l'auraient fait des eaux agitées s'épanchant *par-dessus un déversoir*.

Le courant du flot se maintient pendant 9 heures de marée à l'extrémité est de la branche est et celui du jusant n'y dure que 3 heures.

Un autre fait également hors de doute aujourd'hui, c'est que la crête du *banc* en dedans de la branche est se dérase et que la profondeur d'eau y est augmentée; mais que, par compensation, les matières provenant de ce dérasement se sont portées vers la pointe ouest du banc qu'elles tendent à allonger vers le nord-ouest en y diminuant la profondeur d'eau. Toutefois, la ligne de 25 pieds d'eau ($8^m,12$) à basse mer n'a pas varié.

*Tableau indicatif des directions du flot et du jusant aux diverses époques de la marée journalière et sur divers points de la rade de Cherbourg en novembre 1838.*

| NOMENCLATURE. | DIRECTION DU FLOT exprimée par les aires de vent vers lesquelles le flot marche. | | | | DIRECTION DU JUSANT exprimée par les aires de vent vers lesquelles le jusant marche. | | | | VIVES EAUX. | | MORTES EAUX. | | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1er quart montant. | 2e quart montant. | 3e quart montant. | 4e quart montant. | 1er quart descendant. | 2e quart descendant. | 3e quart descendant. | 4e quart descendant. | Heures de haute mer. | Heures de basse mer. | Heures de haute mer. | Heures de basse mer. | |
| | | | | | | | | | h. | h. | h. | h. | |
| Au nord de la digue | N.-E. | E. | E. | E. | D. | O. | O. | D. | 9 | 3 | 3 | 9 | A une demi-lieue de la digue. |
| Au sud de la digue. | E. | E. | E. | E. | D. | O. | O. | O. | 8 1/2 | 2 1/2 | 2 1/2 | 8 1/2 | A demi-encablure de la digue. |
| Passe de l'ouest. | S.-E. | S.-E. | S.-E. | S.-E. | N.-O. | N.-O. | N.-O. | N. D | 8 1/2 | 2 1/2 | 2 1/2 | 8 1/2 | |
| Passe de l'est | N.-E. | N.-E. | E. | E. | S.-O | S.-O. | Etale | N.-E. | 8 1/2 | 2 1/2 | 8 1/2 | 8 1/2 | |
| Petite passe entre l'île Pelée et la côte de Tourlaville | E.-S.-E. | E.-S.-E. | E.-S.-E. | E.-S.-E. | O. | O. | O. | O. | 9 | 3 | 3 | 9 | |
| Milieu de la rade | S.-E. | E. | E. | E. | O. | O. | O. | O. | 8 | 2 | 2 | 8 | Les vents font quelquefois avancer ou retarder l'heure des marées jusqu'à une heure d'intervalle. |
| Fort du Homel | S.-S.-E. | S.-S.-E. | N.-N.-O | N.-N.-O | N. | N. | N. | N. | 8 | 2 | 2 | 8 | |
| Avant-port militaire | S.-S.-E. | S.-S.-E. | N.-N.-O. | N.-N.-O | N. | N. | N. | N. | 8 | 2 | 2 | 8 | |
| Avant-port marchand. | E.-S.-E. | E.-S.-E. | N. | N. | N. | N. | N. | N. | 7 3/4 | 1 3/4 | 1 3/4 | 7 3/4 | |
| Aux Mielles | E.-S.-E. | E.-S.-E. | N.-O. | N.-O. | N.-O. | N.-O. | N.-D. | N.-D | 7 3/4 | 1 3/4 | 1 3/4 | 7 3/4 | |
| Au Becquet | E. | E. | E. | E. | O. | O. | O. | O. | 8 | 2 | 2 | 8 | |

Breakwater de Plymouth.

Le breakwater de Plymouth a été fondé dans une rade entourée de trois côtés par des reliefs de terrain très-élevés, et qui n'était ouverte qu'au sud. Cette rade présentait plusieurs bancs de rochers entre lesquels et les côtes il y avait trois passes principales, une vers la côte de l'ouest, une au milieu, une vers la côte de l'est.

Pl. 123. Fig. 617.

On avait proposé d'abord des môles enracinés dans les côtes, et qui auraient eu depuis 823 jusqu'à 2423 mètres de longueur; ces môles devaient aboutir aux divers bancs de rochers. Mais l'on sacrifiait ainsi l'une des deux passes de rive les plus commodes, pour conserver celle du milieu, qui l'était beaucoup moins. On craignit d'ailleurs que les môles enracinés dans une rive ne rejetassent les courants de flot et de jusant sur l'autre, et n'y augmentassent la vitesse et la profondeur; tandis qu'en arrière des môles et vers l'intérieur, l'eau devenue stagnante eût donné lieu à des dépôts de vase qui auraient privé de profondeur précisément les zones les plus abritées de la rade.

On se décida en conséquence pour un môle isolé, insubmersible, fondé sur les bancs de rochers les plus reculés dans l'intérieur de la rade, en laissant en avant vers le large comme *brisants* ou *contre-jetées* tous les autres bancs de rochers. Le môle oppose aux vents du sud-sud-est un front perpendiculaire rectiligne de 914 mètres de longueur, auquel font suite, aux deux extrémités, deux retours de 320 mètres de longueur rentrant

vers l'intérieur de la rade par des angles de 135° avec la partie droite. Les deux retours ont eu pour objet d'abriter la rade d'un côté contre les vents du sud au sud-est, et de l'autre contre ceux du sud au sud-ouest, et aussi de diriger les courants du flot vers les deux rives de la rade.

La surface de mouillage intérieur abrité directement contre les vents du sud-est, à Plymooth, est d'environ 4500000 mètres carrés.

Dans la baie de la Delaware, il y avait à se garantir à la fois contre les glaces venant des fleuves à l'amont et contre les vents régnants qui, sur cette plage, sont du nord-ouest à l'est en passant par le nord. On désirait, d'ailleurs, par des considérations nautiques et commerciales, favoriser bien plus l'entrée aux bâtiments venant du large et cherchant une rade de relâche, que le stationnement et la sortie des bâtiments venant de l'intérieur de la baie. Une profondeur d'eau minimum de $5^m$,49 était requise et devait être maintenue par les eaux du jusant après la construction du breakwater. Ce dernier courant devait d'ailleurs diminuer l'action du flot sur le cap *Hinlopen* situé sur la côte à l'est de la rade, et arrêter aussi les ensablements progressifs du cap vers le nord. Ces ensablements pouvaient en effet rendre très-difficiles les approches de la passe est de la rade.

**Breakwater de la Delaware.**

**Pl. 123. Fig. 618.**

Le breakwater de la Delaware se compose ainsi de deux ouvrages, l'un *brise-lame*, l'autre *brise-glace*, isolés l'un de l'autre. Le *brise-lame* est formé de deux branches comprenant un angle de 135°; l'une à l'ouest, de 650 mètres de longueur, est presque normale à la direction des vents régnants du nord-nord-ouest; celle de l'est, de 430 mètres de longueur, est perpendiculaire à peu près à la direction des vents de nord-est.

Le brise-glace rectiligne de 457 mètres de longueur est à l'ouest du brise-lame, fait un angle de 135° avec la branche ouest de ce dernier, et en est séparé par un intervalle de 320 mètres de plus courte distance, qui constitue la passe ouest.

Le brise-glace a été projeté d'ailleurs de manière que la ligne qui joint son extrémité nord avec l'extrémité ouest du brise-lame est orientée nord-ouest. Ainsi le brise-glace complète l'abritement de la rade contre les vents compris entre l'ouest et le nord-nord-ouest. Quoique ces vents soufflent de terre dans la Delaware, ils y conservent une grande force à cause du peu de relief des rives de la baie.

En résumé, l'étendue des zones de la rade, qui sera abritée directement contre les vents du nord, est égale à $\frac{1}{6}$ de mille carré américain (431641 mètres carrés); celle des zones abritées contre le vent d'est-nord-ouest est de $\frac{7}{25}$ de mille carré (725157 mètres carrés). Enfin l'espace compris entre la courbe des soudages à $5^m$,40 de profondeur d'eau et les môles, à l'abri des vents du nord-est, est de $\frac{7}{10}$ de mille carré (1832892 mètres carrés).

Les deux passes sont ouvertes, l'une au nord, l'autre à l'est, et ces vents ne règnent dans la Delaware que pendant douze à quinze jours dans l'année.

Les raccordements des diverses branches d'un môle isolé et d'un môle saillant, les enracinements de ces derniers dans les côtes ne doivent pas, ainsi qu'il a été déjà dit, présenter dans le tracé en plan des angles vifs; ils doivent au contraire être effectués

**Raccordements des diverses branches des môles et enracinements des môles saillants dans les côtes.**

par des arrondissements du plus grand rayon de courbure possible, afin d'éviter à la fois la réaction violente des vagues, d'augmenter la résistance de l'ouvrage lui-même, et de procurer plus de développement de quais, lorsque les môles servent de terre-pleins.

Largeur des passes d'entrée aux extrémités des môles.

Le débouché des passes aux extrémités des môles varie entre des limites très-distantes l'une de l'autre. Il dépend en effet d'une foule de considérations nautiques, de l'étendue des mouillages en arrière, du nombre des passes, de leur orientement relativement aux vents régnants, de la grandeur des navires, de leur affluence à l'entrée et à la sortie, de la nécessité de franchir les passes en droite ligne ou en louvoyant, du plus ou moins de calme qu'on veut obtenir en dedans des môles, enfin des conditions défensives. Le calme sera d'autant plus grand à l'intérieur, toutes choses égales d'ailleurs, que la passe sera plus resserrée proportionnellement à la surface de la rade et du port à abriter.

A Cherbourg, les deux passes réservées dans la rade ont, celle de l'est 800 mètres de largeur, celle de l'ouest près de 2330 mètres. Les passes de la rade de Plymouth ont, celle de l'est 822 mètres, celle de l'ouest 1427 mètres.

Ce sont des limites supérieures de grandeur des passes des rades ; car les passes d'entrée des môles des ports proprement dits varient depuis 18 mètres jusqu'à 390 mètres, et généralement ont 60 à 100 mètres de débouché.

Submersibilité ou insubmersibilité des môles.

Presque tous les môles construits jusqu'à ce jour ont été élevés à un niveau tel, que leur couronnement fût non-seulement au-dessus du niveau maximum des *mers calmes*, mais de plus à l'abri des vagues, dans chaque localité et dans les gros temps ordinaires. Cependant on s'est borné quelquefois, dans la hauteur au-dessus des hautes mers d'équinoxe, à un simple mur de parapet longitudinal.

Sans doute des môles *submersibles*, et la digue de Cherbourg en a fourni la preuve, alors même qu'elle n'était élevée qu'au niveau des basses mers de vives eaux, diminuent de beaucoup l'agitation de la mer dans les zones en arrière, et comme le feraient des bancs de rochers sous-marins. Mais, comme ces bancs, ils formeraient des écueils dangereux pour la navigation. De plus, le calme ne se manifeste qu'à une assez grande distance en arrière, et l'on perd ainsi une partie de la surface du mouillage. Enfin, les vagues gonflées par le môle submersible, en roulant sur son couronnement, peuvent compromettre la durée de l'ouvrage lui-même, ou au moins occasionner des rechargements ou des réparations continuelles, qu'on eût évités dans un môle insubmersible, et dont la dépense annuelle correspondrait probablement à un capital plus élevé que le prix initial de construction d'un môle insubmersible.

Au reste, la destination donnée à la plupart des môles pour des ouvrages avancés de fortifications, pour des terre-pleins de quais, pour des constructions d'édifices, laisse rarement indécise la question de l'insubmersibilité.

Continuité ou discontinuité des môles.

On a déjà mentionné précédemment les importantes observations émises par M. l'ingénieur napolitain Fazio sur l'influence des môles continus, relativement aux atterrissements dans les rades et ports, et dans des parages où des troubles sont mis en suspension

par les vagues dans les gros temps, et charriés ensuite par ces vagues ou par les courants.

Dans des atterrages où les eaux ne sont jamais chargées de troubles, il n'est pas probable qu'une digue tronçonnée fût, à longueur égale, de beaucoup moins dispendieuse qu'une digue continue; les cônes isolés de Cherbourg viennent à l'appui de cette assertion. La houle de la mer, resserrée dans les vides, y occasionnerait plus de dégradations ou exigerait plus de solidité dans la construction première. Les coupures transmettraient enfin à l'intérieur, et jusqu'à une distance notable, l'agitation extérieure : il y aurait donc moins de calme qu'avec une digue continue, qui serait alors préférable.

Mais dans des atterrages où *il y a des troubles en suspension*, où déjà il y aurait des atterrissements sur quelques points, il paraîtrait prudent d'exécuter avec des coupures les môles d'abritement, et surtout les môles enracinés dans les côtes; ou au moins d'exécuter l'ouvrage par parties, en dressant un état exact des lieux, des sondages, des directions et vitesses des courants avant l'ouverture des travaux, et en y comparant les reconnaissances successives des mêmes objets aux diverses périodes de la construction. Cette marche sera sans doute beaucoup plus lente qu'une construction d'un seul jet; sans doute aussi un môle tronçonné ne procurerait pas tout le calme désirable dans les gros temps, mais on éviterait ainsi les chances de dépenses énormes en pure perte pour la construction et la démolition subséquente d'ouvrages qui seraient tardivement reconnus nuisibles.

Toutefois le tronçonnement des môles n'aura toute son efficacité qu'autant qu'il descendra jusqu'au fond de la mer. Si ce fond est susceptible d'affouillements, on ne pourra se dispenser de le recouvrir, dans les coupures, d'un radier général en gros blocs d'enrochement ou en béton, lequel aurait à s'étendre au large des deux rives de l'ouvrage au moins sur 15 à 20 mètres.

La fermeture facultative des coupures empêcherait que leur débouché n'eût plus de 10 à 12 mètres d'ouverture; dès lors il en faudrait un grand nombre pour que le système de M. Fazio ne devînt pas illusoire. De là, une surface totale de parements exposés à la mer presque double de celle des deux rives d'un môle continu.

Enfin, le tronçonnement des môles est presque exclusif de l'emploi des enrochements. Il est très-douteux, du reste, que les voûtes en maçonnerie par lesquelles M. Fazio relie les pleins des coupures au-dessus du niveau des eaux; que les ponts et tillacs en charpente ou en métal qu'on y substituerait, et enfin que les panneaux de fermetures et barrages en poutrelles pussent résister à la mer dans les gros temps. L'état de ruine des ports antiques que M. Fazio cite dans son mémoire justifie ce doute. Le système des môles doubles, accolés longitudinalement, se prêterait mieux à la fermeture facultative des coupures, mais doublerait aussi la dépense.

Les môles tronçonnés dans les ports où l'agitation de la mer serait très-grande ne pourraient servir de terre-pleins pour l'accostage des navires et les opérations de chargement et de déchargement, qu'autant que les pleins auraient une très-grande largeur relativement aux vides dans le sens des axes des môles. M. Fazio paraît avoir adopté le rapport de 5 à 4 entre les largeurs des pleins et des vides.

Les observations ci-dessus tendent à démontrer encore une fois que dans l'établissement des môles, et au reste comme dans la plupart des grands travaux, il est bien difficile de satisfaire à toutes les conditions, et impossible d'assigner d'une manière absolue la préférence à donner à tel ou tel système.

Musoirs des môles.

Les môles, comme les jetées ordinaires, présentent presque toujours, à leurs extrémités, des musoirs qui sont tantôt rectangulaires avec arrondissements dans les angles ou entièrement curvilignes. Quelquefois et comme à la digue de Cherbourg, ces musoirs sont destinés à recevoir des forts, des batteries découvertes; et alors leur tracé et leur grandeur dépendent principalement des combinaisons militaires adoptées. Dans d'autres circonstances, les musoirs servent à l'établissement de phares ou fanaux. Enfin, dans tous les cas, ils sont utiles pour les communications du môle avec les navires qui traversent les passes, surtout dans les gros temps.

Cette dernière considération déterminera à leur donner 10 à 12 mètres de plus de largeur qu'au môle ordinaire; mais alors, autant possible, et à moins que le touage ne s'y oppose, l'excédant de largeur doit être tout entier *vers l'intérieur*, et les raccordements avec le môle seront arrondis en courbes concaves d'un grand rayon.

La plate-forme des musoirs des môles comme celle des musoirs des jetées est d'ailleurs placée plus haut de $0^m,80$ à 1 mètre que le reste du couronnement, pour que les paquets de lames dans les tempêtes n'empêchent pas d'y rester. Les parapets des môles du côté du large ont l'avantage également de préserver des paquets de lames les couronnements des môles et les marins qui sont obligés de s'y tenir, et de préserver de l'action directe du vent les zones du mouillage les plus voisines du môle. En Italie, et particulièrement dans les ports antiques, les parapets étaient de véritables murs d'abri, et avaient jusqu'à 5 et 6 mètres de hauteur. A la digue de Cherbourg, le parapet qui a une destination défensive aura $1^m,65$ de hauteur sur $2^m,50$ d'épaisseur; et au môle isolé de Cette, il a $1^m,52$ de hauteur sur une épaisseur de $3^m,85$ dans le haut.

Les parapets concourent aux dispositions défensives et facilitent les réparations d'avaries intérieures. Mais on a objecté qu'ils augmentent, sans compensation équivalente pour la stabilité des môles, la surface qui reçoit le choc des vagues; qu'ils forment la partie de l'ouvrage la plus exposée à la mer, et qu'on ne peut les consolider que difficilement par l'emploi de blocs de dimensions colossales et par des artifices d'appareils très-dispendieux.

Dimensions transversales des môles à leur couronnement.

La largeur des môles à leur couronnement dépend de leur destination, de leur exposition aux tempêtes, de leur hauteur, de la forme de la section transversale de l'ouvrage, de la nature des matériaux, etc., etc. Elle varie dans les môles existants depuis 3 mètres jusqu'à 40 et 50 mètres. La plate-forme de la muraille verticale en maçonnerie en exécution à la digue de Cherbourg à 9 mètres d'épaisseur totale au couronnement, y compris le parapet. Le breakwater de Plymouth aura $13^m,75$ de largeur au sommet, bien qu'il n'ait d'autre destination que d'abriter la rade.

La largeur au sommet du breakwater de la Delaware, qui n'a aussi que cette destination, a été projetée à $9^m,75$.

Le môle isolé de Cette à 12 mètres de largeur en *dedans* du parapet.

D'nn autre côté, les môles qui environnent les darses du port militaire de Toulon, dont le tracé est défensif, et qui devaient fournir des terre-pleius à une foule d'établissements de l'arsenal, des lieux d'armement et des points de déchargement aux mnnitions de toute espèce, ont depuis 22 mètres jusqu'à 140 mètres de largeur.

Le tableau final qu'on trouvera plus bas relate les largeurs de divers môles exécutés.

Les considérations générales présentées antérieurement sur les formes extérieures des revêtements à la mer s'appliquent surtout aux môles. Sous le point de vue de la défense militaire et ponr la navigation, les parois abruptes sont évidemment préférables; elles sont surtout avantageuses pour les rives des môles qui doiveut servir à l'accostage et aux opérations d'armements et autres. Formes de la section transversale.

---

## NOTE N.

### BRISE-LAMES EN FASCINAGES.

Quoique le mot de *brise-lames* puisse s'appliquer aux jetées et aux môles, on le réserve généralement pour les seules jetées ou épis en fascinages.

En Hollande et en Belgique, les brise-lames se construisent : 1° en terre argileuse avec revêtement, soit eu fascinages avec tunes serrées ou lestées, soit eu pierres de Tonrnai on de Vilvorde; 2° en couches de fascinages et de décombres; 3° en fascinages seulemeut; 4° eu couches alteruatives de fascinages et de terre argileuse; 5° en matériaux divers.

1° *Brise-lames en terre glaise revêtue.*—Après avoir bien nivelé le uoyau eu terre argilense, on le reconvre d'un paillassonnage, puis d'un revêtement à tunes serrées. Le contour est bordé d'nn kieltuyn de 5 à 6 brins; les flancs, comme toute jetée construite sur le sable, doiveut être euterrés au moins sur 1 mètre de profondeur pour éviter les effets désastreux des affouillemeuts.

Le brise-lames à tunes lestées est formé également d'un noyau en terre glaise, mais il n'est poiut euraciné; ses flancs prenuent appui sur des plates-formes encastrées dans le sol. Ces plates-formes ont $4^{m},00$ de largeur environ; elles se composent généralement d'nu grillage de saucissons, de trois couches de fascines, dont la dernière a deux fascines d'épaisseur; enfin ciuq saucissons, placés respectivement au-dessus des saucissons longitndinaux du grillage inférieur, sont reliés à cenx-ci par des cordes de bitord; la plate-forme acquiert ainsi nne grande force de liaison. L'iutervalle entre les saucissons est garni de tunes et lesté.

L'espace compris entre les deux plates-formes, constrnites pour servir d'appui aux talus, est remblayé en terre glaise et forme le corps du brise-lames; on revêt ce noyan d'nu

bon paillasson, puis d'une couche de roseaux de 0m,05 d'épaisseur, enfin d'un revêtement en fascinages avec tunes lestées.

Les levées de fascines qui forment le revêtement ne sont posées qu'à 0m,25 ou 0m,30 en retraite les unes sur les autres, afin d'offrir une forte épaisseur. Les tunages en sont forts et sont établis suivant la longueur du brise-lames.

2° *En fascinages et décombres.* — Ce genre de brise-lames se construit de deux manières.

Dans le premier système, le corps de la jetée est encore en terre argileuse; il est revêtu ensuite d'un fort paillasson, d'une assise de briques jointives et à plat, d'une couche de décombres de 0m,15 à 0m,20 d'épaisseur, et enfin d'un enrochement.

Les flancs sont plus ou moins enracinés, suivant la mobilité du sol sur lequel l'on construit, et sont protégés par deux ou trois rangées de pierres placées de champ contre un fort tunage entouré d'un remblai en décombres ou en fragments de pierres.

Le corps du brise-lames, dans le second système, est formé de briqnaillons au lieu de terre glaise. L'on commence par établir sur le sable un grillage en saucissons recroisés et espacés d'environ 1 mètre; on recouvre ce grillage de deux couches de fascines perpendiculaires entre elles, d'un noyau de briques concassées, d'une couche de fascines placées dans le sens de la jetée, d'une seconde assise placée transversalement et formant revêtement; et enfin de rangées de saucissons, fixées de mètre en mètre à celles du grillage inférieur par des cordes de bitord, et longées de part et d'autre, comme pour le brise-lames en terre glaise, par de forts tunages dont les intervalles sont lestés.

L'emploi de la terre argileuse est préférable aux briquaillons pour former le noyau du brise-lames, mais le premier genre ne peut être employé que là où la marée permet de construire le brise-lames à sec.

3° *En fascinages.* — La base du massif est formée d'une couche de fascines, placées transversalement et se recouvrait sur la moitié de leur longueur. Sur cette base, l'on établit deux tranches en fascinages, composées chacune d'une couche de fascines longitudinale et d'une couche transversale; l'épaisseur des couches transversales doit être maintenue plus forte dans l'axe de la jetée, afin d'obtenir une certaine courbure. Le revêtement supérieur est formé d'une assise de fascines disposées comme celle du lit inférieur.

De forts tunages, établis sur les couches transversales, relient entre elles toutes les parties de l'ouvrage; une grande partie de leurs piquets ont une longueur de 2 mètres et sont chevillés.

4° *En fascinages et terre argileuse.* — Ce brise-lames diffère du précédent en ce que les intervalles des tunes sont chargés de terre argileuse, au lieu de fascines, dans le corps de la jetée, et que les tunes du revêtement, qui sont ici plus espacées, sont lestées au moyen de décombres ou de moellons.

5° *En matériaux divers.* — Les jetées peuvent être formées de portions de chacun des genres que nous venons de décrire. Cependant, dans les endroits qui ne sont jamais mis à découvert par les marées, il est nécessaire d'avoir recours à un système de plates-

formes en fascinages, coulées sous lest et superposées do façon à former par leurs retraites un talus à 45°; l'on pent anssi employer dans ce cas les fascinages à barbe ou les risbermes. La plate-forme est formée d'un certain nombre do couches de fascines, comprises entre donx grillages en saucissons recroisés, reliés par des cordes do bitord et surmontés de tunages. Les cases du grillage snpérieur et ses tunages sont destinés à recevoir le lest.

Le musoir et la portion contiguë dn brise-lames étant construits sous l'ean au moyen de ces plates-formes, la partie suivante se composera, par exemple, do fascinages lestés do décombres si l'on est exposé anx attaques des tarets; la troisième partie, s'étendant jusqu'an niveau des marées hautes, s'exécutera suivant la première méthode en fascinages à tunes serrées ou lestées; enfin, la dernière sera formée d'un simple perré en moellons. E. R.

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE-SIXIÈME LEÇON.

SUITE DES BRISE-LAMES ET MÔLES D'ABRITEMENT. — AVANT-PORTS ET PORTS D'ÉCHOUAGE. — BASSINS DE FLOT, DARSES ET DOCKS.

### *Mode de construction des môles.*

Les môles, surtout les musoirs, étant bien plus exposés que les jetées à l'action directe des vagues et des courants, étant fondés à une bion plus grande profondenr audessous du niveau des hautes mors, requièrent bien plus do solidité quo les jetées, et présentent plus de difficultés encore dans lour exécution. Le temps disponiblo pour lo travail est plus restreint, entre autres dans la construction des môles isolés pour lesquels les transports et les communications de tonte sorte ne peuvent s'effectuor quo par mer, et sont assujottis à une foule d'entraves provenant des marées, des courants, de l'agitation de la mer, etc.

Dans les rades et atterrages, tels que ceux de Saint-Malo et Granville, Roscoff, Ouessant, où les dénivellations des marées sont énormes, relativement aux tirants d'ean des bâtiments qui à basse mer sont forcés d'échouer, l'emplacement des môles découvre souvent à basse mer, et alors leur système de fondation et de construction peut se rapprocher do celui des jetées, des quais, des digues et autres onvrages littoraux. Les figures 619 des planches représentent plusieurs môles exécutés do cette manière sur les côtes d'Écosse. Pl. 125. Fig. 619.

Mais, dans les rades de l'Océan et de la Méditerranée surtout, où les dénivellations des marées seraiont faibles et presquo nulles relativement à la profondenr d'eau nécessaire au mouillage; dans d'antres rades où l'on voudrait procurer un mouillage abrité à

des bâtiments restant à flot *pendant la basse mer*, le travail de construction des môles se compose ordinairement de deux parties distinctes : 1° de la fondation artificielle depuis le sol jusqu'au niveau des basses mers; 2° de l'élévation du môle depuis ce niveau jusqu'au couronnement de l'ouvrage.

**Fondation de la portion des môles au-dessous des basses mers.**

Un petit nombre seulement des divers modes de fondations artificielles indiqués dans les treizième et vingtième leçons est applicable ici. Ainsi, on est forcé souvent d'exclure les pilotis de support. Car, outre l'extrême difficulté d'effectuer le battage avec quelque précision dans des eaux toujours oscillantes même dans les temps de calme, un coup de vent suffirait pour renverser ou briser les pieux isolés, et même les pieux réunis par un grillage avant qu'on eût rempli leurs intervalles par des enrochements ou par de la maçonnerie de béton.

Les machines et apparaux de battage ne pourraient rester sur place sans être détruits à chaque instant par la mer; leur démontage à flot à la fin du travail journalier, et leur remontage le lendemain, réduiraient le temps du battage à un petit nombre d'heures par jour. Indépendamment de ces motifs, les pilotis ne sont plus praticables toutes les fois que la profondeur d'eau au-dessous des basses mers et la fiche que les pieux auraient à prendre seraient de plus de 9 à 10 mètres.

Le travail à l'aide de la cloche à plongeur ou de scaphandres serait d'une lenteur inconciliable avec les grandes dimensions de longueur et largeur des môles; il exigerait un mobilier énorme qui opposerait les mêmes difficultés que celui du battage des pieux.

Ce qu'on a dit pour les pilotis de support de fondation s'applique *à fortiori* au système de construction par batardeaux.

Il ne resterait donc dans les parages *très-tourmentés par la mer*, pour les fondations artificielles en contre-bas des basses mers, que l'un des trois modes suivants, employé isolément ou concurremment :

1° Celui des enrochements à pierres perdues, dont le môle de Cette dans la Méditerranée, la digue de Cherbourg, le breakwater de Plymouth, celui de la Delaware dans l'Océan, sont les principaux exemples, et sur lesquels on a donné des détails à la trente-quatrième leçon, t. II, pages 339 à 347 ;

2° Celui des caissons non foncés, en bois ou en métal ;

3° Celui des caissons foncés, en bois ou en métal.

Les caissons pourraient avoir d'ailleurs diverses formes et être remplis d'enrochements, de maçonneries en pierres sèches, de maçonneries à mortier hydraulique ou de maçonneries de béton, soit enfin de combinaisons mixtes.

Les cônes en charpente, exécutés par M. Decessart à la digue de Cherbourg, étaient de véritables caissons amovibles non foncés, mais qui devaient servir à la fois pour la partie inférieure de la digue constamment immergée et pour la partie supérieure au niveau des basses mers.

Dans la Méditerranée, dans la Baltique, où les dénivellations des marées sont à peu près nulles, on a employé généralement le système des enrochements pour les fondations *artificielles* des môles.

Toutefois, divers môles anciens et notamment celui d'Ostie ont été fondés à l'aide de navires échoués remplis de maçonneries, et qui sont de véritables caissons *foncés*. Vitruve lui-même a indiqué comme généralement pratiqué de son temps, le système des caissons rectangulaires foncés et non foncés ; et M. Fazio induit de diverses citations que les môles discontinus, formés de piles qui descendaient jusqu'au sol, avaient été fondés de cette manière.

Dans des temps plus rapprochés, on a eu recours pour la digue de Richelieu, ainsi qu'il a été déjà dit, au même système de navires échoués et remplis de matériaux, et M. Decessart avait songé à l'appliquer à la digue de Cherbourg.

Le môle de Nice a été fondé dans sa partie centrale par des caissons contigus d'environ 14 mètres de longueur sur 14 mètres de largeur et $10^{m},70$ de hauteur de parois ; et ce genre de construction avait été proposé sous l'Empire pour l'allongement du môle d'Ancône. Pl. 123. Fig. 621.

Enfin, M. l'ingénieur Poirel a amélioré encore au môle d'Alger l'emploi des caissons pour fondations de môles. (Voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1838.)

Le système de caissons foncés en bois ou en métal exige qu'on drague au préalable et qu'on règle avec soin l'emplacement où ces caissons doivent être échoués ; c'est une des difficultés et l'un des inconvénients de ce genre de constructions. Si, comme dans les travaux en rivière, on échoue les caissons vides, on est exposé, dans les parages où la mer est habituellement agitée, à des avaries considérables pendant le temps du travail, et même à la destruction de ces charpentes colossales. Si le caisson reste à flot jusqu'à ce que le poids des maçonneries le fasse immerger, il peut dans l'échouage se rompre et compromettre les maçonneries à l'intérieur. D'ailleurs, les dépenses d'épuisement de ces caissons dans *les ports à marées* seraient très-considérables, à moins que le caisson par sa hauteur ne servît à la fois pour les maçonneries *au-dessous* et *au-dessus* des *basses mers* ; mais alors les poussées d'eau qu'il aurait à contenir seraient énormes dans beaucoup de circonstances, et l'on ne pourrait rendre le caisson résistant qu'en se jetant dans des constructions gigantesques en bois et d'un prix incalculable.

L'on serait conduit par les considérations qui précèdent à construire les tranches verticales de maçonnerie de la partie *constamment immergée* des môles sur des radeaux flotteurs, dans une enceinte où ces radeaux seraient assis sur des chantiers. Cette enceinte devrait, dans les ports à marée, présenter une profondeur d'eau suffisante pour la mise à flot des radeaux chargés, et dans les ports sans marée, être en communication facultative avec la mer.

Lorsque la tranche de maçonnerie serait achevée, le radeau serait mis à flot et remorqué, par un temps calme, au lieu d'immersion où l'opération d'échouage s'effectuerait immédiatement d'après des procédés analogues à ceux qui ont été suivis pour les cônes de la digue de Cherbourg.

Un pareil mode ne serait applicable évidemment qu'à des tranches peu volumineuses et obligerait, dans beaucoup de circonstances, de subdiviser le massif de fondation du môle, non-seulement dans le sens vertical, mais aussi dans le sens horizontal ; en sorte

que, dans l'exécution, ce massif ne serait qu'une sorte de maçonnerie irrégulière en *pierres sèches*, faite sous l'eau avec des blocs artificiels imparfaitement arrimés.

Les caissons non foncés seront donc en général préférables aux caissons foncés.

Mais, ainsi que M. l'ingénieur Poirel l'a judicieusement fait observer, les premiers, *s'ils sont en bois*, ne doivent servir que d'enveloppes temporaires et jusqu'au durcissement complet des maçonneries, afin d'éviter ce qui est arrivé à la charpente des cônes de la digue de Cherbourg. Cette durée très-restreinte permettra d'ailleurs d'employer des bois de qualité inférieure, à bas prix et grossièrement œuvrés.

En admettant même qu'il n'y eût pas de vers marins dans la localité, qu'ils ne pussent y être importés subséquemment et ne pussent s'y propager avec leur rapidité ordinaire, la charpente en bois des caissons non foncés, assaillie par les vagues, particulièrement dans les basses mers, privée d'entretien et de réparations, serait bientôt déliaisonnée et détruite.

**Exécution des caissons.** Une difficulté commune aux caissons foncés et non foncés, mais plus spéciale encore aux premiers, c'est d'obtenir la jonction et la continuité à peu près régulière des diverses tranches successives et adjacentes du même massif de fondation du môle.

Les parois en charpente de deux caissons *foncés* juxtaposés ne sauraient guère être démontées après l'immersion sur un fond qui présentera souvent 10 et 12 mètres d'eau à basse mer, quelles que soient d'ailleurs les dispositions préparées à cet effet avant l'immersion. D'autre part, les vers marins s'y propageant, il se formera à la longue des vides par lesquels la mer pénétrera et agrandira constamment des dégradations inaperçues.

L'emploi de parois en fonte de fer y obvierait, mais en élevant de beaucoup la dépense de construction.

Il semblerait préférable de former sur les deux faces longitudinales du massif de fondation des petites crèches saillantes en pieux jointifs ou en caissons non foncés, vis-à-vis les mailles ou *joints de parement* de deux caissons adjacents, et d'y couler à basse mer du béton qui se répandrait jusque dans les vides entre les parois transversales. Ces dernières seraient ainsi soustraites au batillage de la mer et aux vers marins.

Les caissons *non foncés* juxtaposés ne devraient être formés que de deux surfaces de bois parallèles dont l'écartement et le rapprochement seraient prévenus par des entretoises et des tirants en bois ou en métal ; en sorte qu'après leur immersion, le remplissage du vide entre les deux surfaces s'effectuerait sans discontinuité d'un caisson à l'autre. Les mailles ou *joints de parement* seraient fermés d'ailleurs, comme il vient d'être dit pour les caissons foncés.

Malgré ces précautions, la profondeur d'eau, l'action des courants, des dénivellations de marée, de la mer même peu agitée, s'opposeront à ce que les caissons immergés affectent un alignement régulier. Il sera donc indispensable de projeter le massif de fondation avec des empatements ou retraites sur chacune de ses rives, en saillie de 2 mètres à 3 mètres de largeur au moins sur le pied de la partie supérieure du môle.

Du reste, la construction, la mise à flot, la remorque et l'immersion des caissons foncés et non foncés se feraient d'après des procédés analogues à ceux que M. Decessart

a employés pour les cônes de la digue de Cherbourg, et dont les figures 622 donnent une indication. Pl. 124. Fig. 622.

Les formes, grandeurs et nombres de caissons foncés et non foncés pour massifs de fondation des môles dépendent des formes et dimensions et du système de construction du massif à fonder, lesquelles se déduiront elles-mêmes de celles de la partie du môle supérieure aux basses mers.

Des caissons d'un périmètre d'environ 60 mètres et de 20 mètres de hauteur de parois sont les plus grands qui aient été exécutés. Les œuvres de Decessart donneront d'utiles enseignements sur les détails et confections de ces charpentes colossales.

On y trouve, entre autres, que les dépenses de toute espèce, sanf celles pour le remplissage des caisses, se sont élevées pour 18 cônes œuvrés, mis à flot, remorqués et immergés, à . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 21,658,420 fr.

et qne la charpente même de ces cônes n'entrait dans cette somme que pour . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 3,636,560 fr.

La capacité totale était do 43,200 toises cubes, ou . . . . . . . . 319753 m. c.

Ce qui fait ressortir l'ensemble des dépenses par mètre cube de capacité à . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 68 fr.

Et la charpente seule par mètre cube de capacité à . . . . . . . 11 fr. 30 c.

Si la partie émergée d'nn môle peut, à raison de sa destination, n'avoir au niveau des basses mers qu'une épaisseur transversale de 15 mètres au plus, le massif de fondation, à raison des empatements indiqués, aurait de 19 à 21 mètres au plus. Une seule file de caissons foncés on non foncés suffirait dans ce cas.

Mais au delà des chiffres ci-dessus, on formerait le massif de fondation de deux lignes de caissons, l'nne sur la face intérieure, l'autre sur la face extérieure, et l'intervalle entre elles serait comme nne troisième file de *caissons non foncés*.

Matériaux de remplissage des caissons.

Si les caissons étaient en parois métalliques, par exemple dans le système proposé par M. Deeble (voir la traduction dn mémoire de cet inventeur par M. Heller), dont la figure 623 des planches donne une indication, leur remplissage pourrait se faire en blocaille d'enrochement. Mais des parois en bois excluent cette espèce de matériaux, au moins sur les rives du périmètre. La dépense de béton ou de maçonnerie ponrrait cependant être restreinte dans ce cas, en immergeant des couches alternatives de béton et de moellons, on en laissant dans la partie centrale de ces caissons un vide qui serait rempli seulement en blocaille. Pl. 124. Fig. 623.

Ce second moyen s'adapterait au cas d'une seule file longitudinale de caissons de fondation qui aurait à supporter nn massif émergé analogue à celui des jetées, figures 609 des planches, et qui serait formé de deux murs de rive et d'un noyau en blocaille ou en terre battue. Pl. 120. Fig. 609.

Lorsque la grande largeur des môles à leur couronnement exige, dans le massif de fondation, deux files de caissons de rive, le vide entre ces deux files pourra aussi n'être rempli qn'en blocaille d'enrochement.

Au reste, soit qu'il n'y ait qn'une senle file do caissons de fondation, on une sur chaque

rive du môle, il sera utile dans les parages tourmentés par la mer, et pour préserver la charpente des caissons pendant le durcissement des maçonneries et du béton intérieur, de dresser, à l'extérieur des caissons, des enrochements *temporaires* de défense qu'on abandonnera à leur talus naturel vers l'intérieur de la rade ou du port, et auxquels on donnera une pente de 4 à 5 pour 1 vers le large.

On a indiqué dans la trente-quatrième leçon, t. II page 360, les principales considérations d'après lesquelles le choix se fixera sur l'un des systèmes de fondation artificielle ci-dessus indiqués pour les môles, ou sur leurs combinaisons dans le même travail.

Toutefois, les têtes des parties pleines dans les môles tronçonnés, les musoirs extrêmes dans les môles continus, quel que soit le mode de fondation des zones intercalaires, n'admettront guère que l'emploi de caissons foncés ou non foncés.

Car les grands talus des enrochements immergés rétréciraient les débouchés des coupures dans la première espèce de môles, et ceux des passes dans la seconde. D'ailleurs les vagues et les courants qui y seront à leur maximum d'intensité tendraient constamment à faire cheminer les matériaux des enrochements, ou vers le large ou vers l'intérieur, et la stabilité des ouvrages élevés au-dessus du niveau des basses mers sur la fondation en enrochements en serait gravement compromise.

On avait pensé à appliquer à la fondation immergée des môles le système des tunages des travaux en rivières et des digues à la mer. Même Bélidor (t. II, 2[e] partie, page 210 de l'*Architecture hydraulique*) proposait de couler sur le fond un lit de grands arbres ébranchés et espacés parallèlement de 1 mètre à $1^{m},75$. Les intervalles eussent été remplis en graviers ou enrochements; une seconde couche d'arbres eût croisé perpendiculairement la première et eût été en retraite. Les vides en eussent été remplis comme ceux de la première couche. C'était sur un massif de ce genre qu'on eût construit la partie supérieure des môles. Mais outre les difficultés d'immersion, la détérioration rapide des fascinages et clayonnages par les vers marins, outre l'action des vagues sur la blocaille des tunages pendant et après le travail, ce genre de construction serait probablement trop compressible et trop peu résistant pour supporter sans tassements incessants les parties supérieures émergées des môles, à moins qu'elles ne fussent elles-mêmes dans ce système.

**Mode de construction de la partie des môles supérieure au niveau des basses mers. Fig. 123. Fig. 620.**

Lorsque la partie supérieure émergée d'un môle est en enrochements comme la fondation immergée, elle doit être établie en larges retraites sur celle-ci, comme au môle isolé de Cette, figure 620 des planches, de manière que le poids en soit réparti sur une plus grande surface et éprouve moins de tassements. Ces retraites, surtout du côté intérieur, procurent en outre beaucoup de facilités, surtout dans les ports à marées, pour l'échouage à toute haute mer des bâtiments et bateaux qui apportent les matériaux de construction. Enfin, *elles rendent les parties supérieures des môles plus indépendantes des mouvements qu'éprouveraient les parties inférieures immergées.*

Du reste, les surfaces extérieures des enrochements au-dessus du niveau des eaux peuvent être exécutées avec plus de soin que dans les fondations, en arrimant les gros blocs de revêtements et en les disposant en perrés à sec ou en perrés maçonnés.

On a déjà dit, page 340, quels moyens on employait en ce moment au breakwater de Plymouth pour essayer d'arrêter les avaries que ce grand ouvrage n'a cessé d'éprouver depuis 1817.

Si les parties émergées des môles doivent être exécutées sur la base en enrochements, avec parois en bois et métalliques, ou en maçonneries de diverses espèces, les retraites indiquées ci-dessus deviennent encore plus nécessaires pour prévenir les tassements et les déliaisons. Même on pourrait imiter ce qui a été fait pour la fondation du fort central de la digue de Cherbourg, c'est-à-dire opérer et laisser subsister pendant plusieurs mois une charge d'épreuve en gros moellons ou en blocs de beaucoup supérieurs au poids définitif.

Bélidor conseille de recouvrir ensuite la plate-forme des enrochements de fondation par une couche de béton avec *blocs noyés* dans le *béton* de $1^m,10$ à $1^m,30$ de hauteur, afin de répartir uniformément la charge des constructions supérieures.

A la digue de Cherbourg, cette couche est de 80 centimètres d'épaisseur moyenne et s'arrête vers le large, à la rangée extérieure des caisses de défense en béton, et vers l'intérieur à une murette en maçonnerie de moellons. D'après les projets, cet empatement horizontal devait s'étendre même jusqu'à 5 mètres en avant du pied de la muraille vers le large ; mais on y a renoncé, parce que la nappe de béton eût été soulevée de bas en haut par l'action siphonante des lames. Pl. 112. Fig. 571.

On avait même proposé, dans les discussions de ces projets, d'étendre la nappe de béton sur les talus extérieurs des enrochements de fondation jusqu'à 5 mètres en contre-bas du niveau des basses mers. Mais les grandes difficultés et les dépenses de ce travail lui ont fait préférer un revêtement de $1^m,25$ d'épaisseur en gros blocs, s'arrêtant par le haut au niveau des basses mers de vive eau, dressé sur 5 mètres de base pour 1 mètre de hauteur, et descendant à environ 5 mètres de profondeur. D'ailleurs, on avait objecté que cet encroûtement en béton, en faisant disparaître les aspérités des talus d'enrochement, eût laissé aux vagues plus de vitesse et de force pour frapper la muraille verticale.

M. l'ingénieur Leroux avait, dans un but opposé, voulu faire élever les blocs de défense jusqu'au *couronnement du môle*. Mais on a repoussé cette idée par la crainte, d'une part, que ces blocs, remontant dans les tempêtes, n'eussent été des moyens de sape et de destruction contre la muraille émergée à laquelle ils auraient été adossés ; et que, d'autre part, cheminant longitudinalement, ils ne se fussent amoncelés vers les musoirs extrêmes et ne fussent retombés dans les passes.

Ce qu'on a exposé dans la trente-quatrième leçon sur l'emploi des matériaux de construction à la mer, dans la trente-cinquième leçon sur les jetées, dispense d'entrer dans de grands détails sur le mode de construction des *parties émergées des môles*.

Ainsi, si l'on adopte le système de coffrages en bois ou métalliques remplis de blocaille, il est oiseux de recommander que les longrines et traversines du grillage inférieur et des fermes soient engagées dans la couche de béton. Mais l'adhérence du bois au béton étant très-faible, le coffrage en bois ne résistera à l'action des vagues que par sa masse, dont le poids devrait être équivalent à celui d'une muraille en maçonnerie.

La partie émergée des môles, d'*une grande largeur au couronnement*, serait comme les jetées, figures 609 des planches, exécutée avec un noyau de blocaille, contenu dans des compartiments en maçonnerie, et terminé par un épais dallage en maçonnerie. C'est le système employé dans la plupart des ports d'Italie, et que reproduisent les figures 624 des planches.

Pl. 120. Fig. 609.

Pl. 124 et 125. Fig. 624.

Cette disposition avait été proposée aussi par M. l'ingénieur Leroux pour le massif supérieur de la digue de Cherbourg, au lieu du massif plein en maçonnerie qui a été adopté et qui est en exécution. Dans les projets de M. Leroux, les murs de rive auraient eu, celui vers le large 11 mètres d'épaisseur moyenne, celui vers l'intérieur $2^m,40$; les murs de refend des compartiments, équidistants de 20 mètres, auraient eu 3 mètres d'épaisseur. Cette combinaison a été repoussée dans l'examen des projets, parce que les tassements de la base et ceux spéciaux des diverses parties du massif mixte auraient déliaisonné les trois tranches distinctes, et que les fissures et lézardes ainsi produites, en introduisant la mer dans l'intérieur du massif, en eussent amené la destruction. On avait d'ailleurs fait observer que la plate-forme supérieure de la digue ne devait servir que de chemin de communication entre le fort central et les musoirs extrêmes.

Lorsque le massif de fondation d'un môle a été exécuté avec des caissons, l'exécution de sa partie supérieure se fait comme sur un sol naturel en rocher, et la seule précaution à prendre est de laisser à ce massif le temps de durcir avant de lui faire supporter la charge qu'il doit recevoir.

On a supposé précédemment que la construction des parties d'un môle, inférieures et supérieures au niveau des basses mers, serait distincte. Mais dans les ports à faibles marées, quand la profondeur de l'eau dans l'emplacement des môles n'est pas très-grande, et particulièrement pour l'établissement de môles avec piles dans le système de M. Fazio, et par caissons foncés ou non foncés, il pourra être avantageux, pour la rapidité d'exécution, de faire construire les caissons pour toute la hauteur du môle; car les opérations de mise à flot, de remorque et d'immersion n'en seront alors ni beaucoup plus difficiles, ni beaucoup plus coûteuses.

Du reste, les môles comme les jetées, quel que soit leur système d'exécution, présentent sur leur face intérieure, et au-dessus du niveau des basses mers, des échelles de sauvetage de 50 en 50 mètres au moins; des boucles, ou plutôt des barreaux fixes aussi pour amarrages, espacés à $20^m$ ou $25^m$ au niveau des vives eaux ordinaires; des poteaux ou canons d'amarrage en fonte, à 25 ou 30 mètres d'intervalle sur le couronnement.

Et si, de plus, les môles servent à l'accostage des navires, aux opérations de chargement et de déchargement des navires de commerce, et à celles d'armement et de désarmement des navires de guerre, des rampes et des escaliers placés parallèlement et en dedans des parements des môles seront également nécessaires.

Ordre d'exécution.

L'ordre d'exécution d'un môle enraciné dans les rives est évidemment de partir de la rive et de s'avancer en mer, afin *qu'il n'y ait jamais pour la construction qu'une seule tête* de l'ouvrage exposée à la mer, et que les parties exécutées servent de chemins aux matériaux pour les parties en exécution. Pour un môle isolé, on partira du centre pour

marcher vers les deux extrémités. Si la base est en enrochements, il est essentiel que les zones partielles soient toutes *du même âge* au moment où s'exécuteront successivement les diverses tranches de la partie émergée du môle.

Toutefois, si l'exécution des enrochements précède de plusieurs années celle du massif supérieur du môle, il arrivera que le haut des enrochements sera bouleversé dans les tempêtes, et qu'une grande partie des matériaux sera jetée vers l'intérieur ou viendra s'amonceler vers les extrémités. C'est ainsi que les enrochements de fondation de la digue de Cherbourg ont été relevés jusqu'à trois fois depuis 1790 jusqu'en 1832 et sur une hauteur de 2 à 3 mètres, et qu'une masse énorme de matériaux y est devenue improductive. Il y a moins d'inconvénients encore dans les tassements plus considérables d'enrochements *récents*, surtout si ces derniers sont d'une composition homogène.

De ces tassements, il résulte même quelquefois des facilités de travail dont on a tiré parti à la digue de Cherbourg. Le plan d'assiette de la muraille devait être définitivement mis au niveau des basses mers d'équinoxe. Le travail eût été condamné à une extrême lenteur, s'il avait fallu couler la couche inférieure de béton à cette cote; mais il a suffi de l'établir au niveau des basses mers de vives eaux ordinaires, et par les tassements, elle est parvenue ensuite au niveau prescrit.

L'exécution des massifs émergés des môles peut être dirigée d'après la marche adoptée depuis 1833 pour la muraille de la digue de Cherbourg.

L'insuffisance des crédits annuels ayant empêché de travailler à la fois sur les deux branches à partir du fort central, on ne s'est occupé que de la branche de l'est qui est la plus courte, afin de mettre le plus tôt possible la rade et l'entrée du nouveau port militaire à l'abri des vents du nord-est, qui sont à Cherbourg les plus fréquents et les plus tenaces, et afin de rendre ainsi plus tôt productifs les fonds dépensés.

On pose dans une première période de temps, mais seulement *jusqu'au niveau des basses mers* de morte eau, la longueur de muraille que l'on veut élever dans la deuxième période. Dans la deuxième période, on élève cette longueur seulement jusqu'au niveau des hautes mers des vives *eaux ordinaires*. Dans une troisième période, elle est exhaussée jusqu'au niveau des plus hautes mers d'équinoxe, où elle n'est plus franchie que par les vagues dans les tempêtes. On a réservé jusqu'aux derniers temps de l'achèvement de la digue, où les tassements de la base en enrochements auront probablement cessé, l'exhaussement final jusqu'au dallage de la plate-forme et la construction du parapet définitif.

On a ajourné à la même époque la construction des musoirs extrêmes, des forts qui y seront élevés, ainsi que celle du fort central, parce que ces ouvrages n'ont qu'une importance défensive qui doit céder aux exigences maritimes, et que leur dépense ne pourra se faire qu'avec des crédits *spéciaux*.

---

On présente dans le tableau ci-après les renseignements qu'on a pu recueillir sur les môles des principaux ports dans l'Océan et dans la Méditerranée, hors de France et en France. C'est plutôt un cadre ouvert pour recevoir ceux qui manquent.

*Tableau relatif aux môles des principaux ports français et étrangers de l'Océan.*

| DÉSIGNATION DES MÔLES. | VENTS RÉGNANTS. | DIRECTION DES VENTS DANS LES TEMPÊTES. | ORIENTEMENT | | SURFACE APPROXIMATIVE DU MOUILLAGE ABRITÉ. | LARGEUR DU DÉBOUCHÉ DES PASSES. | DIFFÉRENCE OBSERVÉE OU PRÉSUMÉE ENTRE LES HAUTEURS DES VAGUES DANS LES GROS TEMPS EN DEDANS ET EN DEHORS DES MÔLES. | HAUTEURS APPROXIMATIVES | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | GÉNÉRAL DE LA LONGUEUR DES MÔLES. | DE L'AXE DE L'OUVERTURE DE LA PASSE. | | | | DU COURONNEMENT DE MÔLE AU-DESSUS DES PLUS HAUTES MERS CALMES. | DU PARAPET SUPPLÉMENTAIRE A LA PRÉCÉDENTE. | DU COURONNEMENT | |
| | | | | | | | | | | AU-DESSUS DES BASSES MERS. | AU-DESSUS DU FOND. |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
| *Ports de l'Océan à l'étranger, hors de France,* | | | | | | | | | | | |
| Breakwater ou brise-lame de la Delaware, en exécution aux États-Unis. | N.-O. à l'E. en passant par le N. | Du N.-E. à l'E. en passant par le N. | O.-N.-O. à l'E.-S.-E. | 1re passe, du N.-E. au S.-O. 2e passe, de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O. | mèt. q. 431,641 | mèt. 320 457 | mèt. 1,62 | mèt. 1,62 | mèt. » | mèt. 3,65 | mèt. 12,00 |
| Breakwater ou brise-lame de Plymouth, en exécution en Angleterre . . . . . . . . . . | Du S.-E. au S.-O. par le S. | Du S.-E. au S.-O. par le S. | E. N.-E. à l'O.-S. O. | 1re passe, du N. au S. 2e passe, du N. E. au S. O. | 4,500.000 | 822 1,427 | 3.00 | 0,97 | » | 5,40 | 16,00 |
| Môle de Holyhead en Angleterre, tel qu'il avait été projeté. . . . | Du S.-O. au N.-O. | » | » | » | » | » | » | 1,83 | 2,44 | » | 11,30 |
| Môle des petites îles d'Écosse, construit par l'ingénieur Telford . . | Du S.-E. au S.-O. par le S. | » | E.-O. | Passe unique du S. E. au N.-O. | 1,200 | 36 | » | » | » | » | 4,00 |
| Môle du port de Fraserburgh en Écosse, construit par l'ingénieur Telford. | De l'E. à l'O. par le N. | » | E. à l'O. | E.-O. | » | » | » | » | 1,40 | » | 5,50 |
| 1er môle sud / 2e môle nord de Ross en Écosse, | » | » | N.-O. au S.-E. | Passe unique du N.-E. au S.-O. | 1,040 | 18 | » | 10,80 | 1,80 | 6,00 | 6,00 |
| construits par l'ingénieur Telford . | » | » | *Id.* | *Id.* | » | » | » | 0,80 | » | 6,00 | 4,00 moyennement |
| Môle du port de Maholmaeb, construit par l'ingénieur Telford . . | » | » | E. à l'O. | » | » | » | » | » | 1,80 | 3,60 | 6,40 |
| Môle de Banff en Écosse, construit par l'ingénieur Telford . . . . | » | Du N.-O. au N.-E. | E.-O. | Passe unique de l'E. à l'O. | » | 50 | » | » | 3,00 | » | 9,00 |
| *Rades et ports de l'Océan en France.* | | | | | | | | | | | |
| Digue de Cherbourg, en exécution . | Du S. à l'O. | Du N.-O. au N.-E. | E.-O. | Passe de l'E. du N.-E. au S.-O. Passe de l'O du N.-O. au S.-E. | 9,120,000 | 800 2,330 | 4,00 | 1,83 | 1,65 | 9,35 | 20,00 moyennement |
| Môle de Granville en prolongement. | *Id.* | Du S.-O. au N.-O. | 1re branche du N. au S. 2e branche de l'E. à l'O. | Du S.-E. au N.-O. | 110,880 | 160 | » | » | » | » | 7,00 |
| Môle des Noires en construction à Saint-Malo . . . . . . . . . | Du S. à l'O. | De l'O. au N. | Du N.-E. au S.-O. | De l'O. à l'E. | 224,000 | 580 | » | » | 2,00 | » | » |
| Brise-lame du Nay de l'avant-port de Saint-Servan. . . . . . . | *Id.* | *Id.* | *Id.* | *Id.* | 18,060 | 226 | » | 0,40 | » | » | » |
| Môle de Roscoff . . . . . . . . | *Id.* | *Id.* | O.-N.-O. à E.-S.-E. | 1re passe, de l'E. à l'O. 2e passe, *id.* | » | » | » | » | 1,65 | » | 8,10 |
| Môle de Camaret dit le Sillon . . . | *Id.* | *Id.* | O.-S.-O. à E.-N.-E. | N. et S. | » | » | » | » | » | » | » |

*et de la Méditerranée sur lesquels on a pu obtenir quelques renseignements.*

| LONGUEUR TOTALE DU DÉVELOPPEMENT DU MÔLE. | DESTINATION DU MÔLE. | PROFIL TRANSVERSAL DU MÔLE. | SYSTÈME DE CONSTRUCTION. | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE DU MÔLE — AU COURONNEMENT. | AU PARAPET. | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE TOTALE A LA CRÊTE. | ÉPAISSEUR TRANSVERSALE APPROXIMATIVE — AU NIVEAU DES BASSES MERS. | AU FOND DE LA MER. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. |
| mètres. 1100 | Pour abriter le mouillage et arrêter les glaces et les sables. | Section trapézoïdale, à talus variables, ayant vers le large 33 mètres de base totale pour 12 mètres de hauteur, et 12 mètres de base pour 12 mètres de hauteur vers l'intérieur. | Noyau en blocs de moyenne grosseur, recouverts vers le large de gros blocs dont le poids va en augmentant de bas en haut. | m. 9,75 | m. » | m. 9,75 | m. 28,00 | m. 35,00 |
| 1550 | Pour abriter la rade et concourir à la défense militaire. | La section transversale se compose de deux trapèzes superposés. Le trapèze inférieur a sur ses deux rives des talus de 3 et 2 mètres de base pour 1 mèt. de hauteur au large et à l'intérieur. Le trapèze supérieur, en retraite sur le précédent vers le large, par une risberme de 21 mèt. de largeur, présente un talus vers le large de plus de 3 mètres de base pour 1 mètre de hauteur, et vers l'intérieur de 1m,5 de base pour 1 mètre de hauteur. | Noyau en blocs d'enrochement, recouverts dans le couronnement et sur le talus vers le large du trapèze supérieur de la section, par des blocs de la plus grande dimension, taillés et liés par des plâtres-ciments énergiques. | 13,50 | » | 13,50 | 70,00 | 120,00 |
| 1200 | A abriter la rade et à fournir des terre-pleins au commerce. | Section transversale composée de deux trapèzes en retraite l'un sur l'autre par une risberme de 15 mètres. Les talus, vers le large des deux trapèzes, étaient projetés à 3 de base pour 1 mètre de hauteur; et les talus intérieurs à environ 1m,50 de base pour 1 mètre de hauteur. | Noyau en blocs d'enrochement, avec très-gros blocs pour les revêtements vers le large. | 15,00 | 2,44 | 17,44 | » | 82,00 |
| 80 | *Id.* | Section presque rectangulaire. | Deux murs en maçonnerie séparés par un noyau en blocaille. | 4,80 | » | 4,80 | » | 6,00 |
| 260 | *Id.* | Section trapézoïdale presque rectangulaire. | *Id.* | 10,00 | 2,00 | 12,00 | » | 14,50 |
| 1er môle 70 | *Id.* | Section presque rectangulaire présentant deux surfaces curvilignes vers le large et vers l'intérieur. | *Id.* | 5,40 | 1,20 | 6,60 | 10,20 | 10,20 |
| 2e môle 26 | Pour abriter seulement. | Section trapézoïdale avec talus à 45°. | En enrochements recouverts de gros blocs sur les talus et le couronnement. | 3,60 | » | 3,60 | » | 7,80 |
| 120 | Pour abriter et fournir des terre-pleins au commerce. | Section presque rectangulaire avec parements à talus abrupts vers l'intérieur et curvilignes vers le large. | Deux murs en maçonnerie avec noyau en blocaille intermédiaire. | 5,40 | 1,20 | 5,60 | 9,10 | 10,00 |
| 170 | *Id.* | Section présentant un talus abrupt vers l'intérieur et une surface curviligne vers l'extérieur. | Mur en maçonnerie fondé sur caissons à l'intérieur. Noyau en blocaille, revêtu sur la surface curviligne de forges et gros blocs d'enrochements. | 6,00 | 4,00 | 10,00 | » | 10,00 |
| 3768 | Abriter et concourir à la défense. | La section est formée de deux trapèzes superposés et séparés par une risberme de 5 mèt. Le trapèze inférieur est formé dans l'intérieur d'un talus de 1 mètre de base pour 1 mètre de hauteur; et vers le large de talus variables, depuis 40 mètres de base pour 9 mètres de hauteur jusqu'à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur. Le trapèze supérieur est presque rectangulaire. | Le trapèze inférieur est en enrochements de petites pierres, recouverts en gros blocs vers le large. Le trapèze supérieur, presque rectangulaire, est en massif plein en maçonnerie parementée des deux côtés en pierres de taille. | 6,50 | 2,50 | 9,00 | 11,50 | 100,00 |
| 300 | A abriter et à servir de quai. | Section presque rectangulaire. | Massif plein en maçonnerie parementée des deux côtés. | » | » | 10,00 | | |
| 280 | A abriter. | Section presque rectangulaire. | Massif plein en maçonnerie parementée des deux côtés. | » | » | 6,90 | | |
| 220 | A abriter. | Section presque triangulaire. | Massif en gros blocs revêtu extérieurement par des perrés. | 0,80 | » | 0,80 | | |
| 312 | A abriter et concourir à la défense. | Section presque rectangulaire avec banquette de 3 mètres de largeur en dedans du parapet. | Murs de rive en maçonnerie de pierres sèches avec blocaille intermédiaire. | 12,10 | 1,75 | 13,85 | » | 14,00 |
| 356 | A abriter. | Section presque rectangulaire. | Maçonnerie en pierres sèches. | 3,00 | » | 3,00 | | |

| DÉSIGNATION DES MÔLES. | VENTS RÉGNANTS. | DIRECTION DES VENTS DANS LES TEMPÊTES. | ORIENTEMENT | | SURFACE APPROXIMATIVE DU MOUILLAGE ABRITÉ. | LARGEUR DU DÉBOUCHÉ DES PASSES. | DIFFÉRENCE OBSERVÉE OU PRÉSUMÉE ENTRE LES HAUTEURS DES VAGUES DANS LES GROS TEMPS EN DEDANS ET EN DEHORS DES MÔLES. | HAUTEURS APPROXIMATIVES | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | GÉNÉRAL DE LA LONGUEUR DES MÔLES. | DE L'AXE DE L'OUVERTURE DE LA PASSE. | | | | DU COURONNEMENT DU MÔLE AU-DESSUS DES PLUS HAUTES MERS CALMES. | DU PARAPET SUPPLÉMENTAIRE A LA PRÉCÉDENTE. | DU COURONNEMENT AU-DESSUS DES BASSES MERS. | DU COURONNEMENT AU-DESSUS DU FOND. |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
| Môle de Saint-Martin dans l'île de Ré | Du S. à l'O. | Du S. à l'O. | E.-O. | 1re passe, du N.-E. au S.-O. 2e passe, du N. au S. | mèt. q. 3,400 | mèt. 18 | mèt. » | mèt. » | mèt. » | mèt. » | mèt. 7,00 |
| Môle de Soccoa dans la rade de Saint-Jean-de-Luz | *Id.* | De l'O. au N.-E. | 1er môle de l'E. à l'O. 2e môle du N.-O. au S.-E. | Du N.-O. au S.-E. | 1,540 | 30 | 9,00 | 3,00 | 1,80 | » | 8,00 |
| ***Môles dans la Méditerranée hors France. — Trieste.*** | | | | | | | | | | | |
| Grand môle de Sainte-Thérèse, exécuté | » | Du N. au S. par l'O. | Du N. au S.-E. | 1re passe, du N.-O. au S. E. | 20,500 | 1re passe 1,600 | » | 1,35 | » | 1,75 | » |
| Môle de l'anse du Lazaret, exécuté à deux branches | » | *Id.* | Du N.-O. au S.-E. | 2e passe, du S. O. au N.-E. | 37,800 | 2e passe 21 | » | 1,35 | 4,90 | 1,75 | 6,00 |
| ***Venise.*** | | | | | | | | | | | |
| Murazzi de la côte de Venise, exécutés. | S. au N. par l'E. | Du S. au N. par l'E. | » | » | » | » | 2,60 | 2,60 | » | 2,60 | 7,80 |
| ***Ancône.*** | | | | | | | | | | | |
| Môle neuf au nord, exécuté | » | Du N. au S. par l'O. | Du N. au S. | Passe unique de l'E. à l'O. de 240 mèt. | 230,400 contre les vents du S. O. | » | » | 2,40 | » | 3,40 | 9,60 |
| Môle ouest existant | » | » | De l'E. à l'O. | *Id.* | 637,400 cont. les vents du N.-N.-E. | » | » | » | » | » | |
| ***Port de Trani dans l'Adriatique.*** | | | | | | | | | | | |
| Môle ancien, saillant sur la côte ouest, existant | » | Du N.-O. à l'E. par le N. | *Id.* | 1re passe, de l'E. orientée E. et O. | 40,690 contre les vents du N. | 1re passe 160 | » | 2,00 | 3,63 | 3,60 | 6,00 |
| Môle nouveau, saillant sur la côte est, existant | » | *Id.* | Du N. au S. | » | 95,240 contre les vents d'E. | 2e passe à l'O. de 94 | » | 2,60 | 3,63 | 3,60 | 4,70 |
| Môle isolé en exécution | » | *Id.* | O.-N.-O. à E.-S.-E. | 2e passe, du N. orientée N.-O. | 33,124 à la fois contre les vents du N. et ceux d'E. | » | » | 2,60 | 3, 3 | 3,60 | 7,90 |
| ***Pouzzoles.*** | | | | | | | | | | | |
| Môle du port de Pouzzoles dans le golfe de Naples, en restauration | » | De l'O. à l'E. par le N. | Du N.-E. au S.-O. | » | » | » | 2,00 | 1,80 | 4,10 | 2,40 | 7,80 |
| ***Port de Civita-Vecchia.*** | | | | | | | | | | | |
| Môle saillant, sur la côte de l'est, dit Bichière, existant | De l'E. à l'O. par le S. | De l'E. à l'O. par le S. | E. à l'O. | | | 1re passe 150 | » | 4,00 | » | 5,00 | 14,00 |
| Môle saillant, exécuté à l'ouest du môle du Lazaret, existant | *Id.* | » | Du N.-N.-E. au S.-S.-O. | 1re passe, du S. E. au N.-O. | 136,300 abrités contre les vents du large. | . | » | 4,00 | » | 5,00 | 14,00 |
| Ancien môle isolé de Trajan, existant. | *Id.* | » | Du N.-O. au S.-E. | 2e passe, du N.-O. au S. E. | | 2e passe 150 | » | 4,00 | » | 5,00 | 14,00 |
| Môle du port de Livourne, existant. | *Id.* | *Id.* | Du S.-E. au N.-O. | Passe unique du S.-E. au N.-O. | 130,000 abrit. cont. les vents de S.-O. | 390 | » | » | » | » | » |
| ***Môles du port de Gênes.*** | | | | | | | | | | | |
| Môle vieux à l'est, existant | *Id.* | *Id.* | E.-N.-E. à O.-S.-O. | *Id.* | 720,000 abrités contre le S.-E. | » | » | » | » | 7,00 | 16,00 |
| Môle neuf exécuté à l'ouest, existant. | *Id.* | *Id.* | O.-N.-O. à E.-S.-E. | | 844,170 abrités contre le S.-O. | » | » | » | 1,50 | 8,00 | 20,00 |
| Môle de Villefranche, existant. | *Id.* | *Id.* | Du S.-O. au N.-E. | Du S.-O. au N.-E. | 356,000 abrités contre les vents de S.-E. | 80 | » | 3,35 | 2,04 | 4,35 | 6,30 |

| LONGUEUR TOTALE OU DÉVELOPPEMENT DU MÔLE. | DESTINATION DU MÔLE. | PROFIL TRANSVERSAL DU MÔLE. | SYSTÈME DE CONSTRUCTION. | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE DU MÔLE | | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE TOTALE A LA CRÊTE. | ÉPAISSEUR TRANSVERSALE APPROXIMATIVE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | AU COURONNEMENT. | AU PARAPET. | | AU NIVEAU DES BASSES MERS. | AU FOND DE LA MER. |
| 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. |
| mètres. 103 | A abriter et concourir à la défense. | Section presque rectangulaire. | Murs de rive en maçonnerie avec noyau intermédiaire en blocailles. | m. » | m. » | m. 10,00 | m. » | m. 13,50 |
| 1er môle 200<br>2e môle 110 | A abriter et fournir des quais au commerce. | Section trapézoïdale en surface curviligne concave vers le large. | *Id.* | 12,50 | 7,50 | 20,00 | » | 28,00 |
| 450 | A abriter et concourir à la défense. | Section trapézoïdale au-dessous des basses mers avec talus de 2 mèt. de base pour 1 mètre de hauteur, et talus de 45° à l'intérieur.<br>Section rectang. au-dessous des basses mers.<br>Le parapet est un véritable mur d'abritement qui divise le couronnement en deux zones distinctes d'abritement. | Le trapèze inférieur est en enrochements recouverts de gros blocs.<br>Le rectangle supérieur présente deux murs de rive avec blocaille à l'intérieur. | » | » | 23,00 | » | 40,00 |
| 350 à l'O.<br>140 à l'E. | *Id.* | *Id.* | *Id.* | 4,40 | 1,00 | 5,40 | » | 22,00 |
| » | Défendre la côte. | *Id.* | *Id.* | » | » | 4,90 à 7,80 | » | 23,30 |
| 530 | A abriter et à fournir des quais, et concourir à la défense. | Section trapézoïdale avec talus : vers l'extérieur, de plus de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur ; et à l'intérieur, de 1m,50 de base pour 1 mètre de hauteur. | Noyau en pierres ordinaires, revêtu de gros blocs à l'extérieur des talus et au couronnement. | 17,00 | 4,45 | 21,45 | » | 44,30 |
| 950 | A abriter et concourir à la défense. | Comme au môle de Trieste. | Comme au môle de Trieste. | » | » | 7,20 | » | 44,30 |
| 90 | Abriter. | Section trapézoïdale au-dessous des basses mers, avec talus de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur vers le large, et talus de 1m,50 de base pour 1 mètre de hauteur.<br>Section rectangulaire au-dessus des basses mers. | Murs de rive en maçonnerie de pierre de taille, avec noyau en maçonnerie ordinaire dans le rectangle supérieur, et en enrochements recouverts de gros blocs dans le trapèze inférieur. | 4,20 | 1,00 | 5,20 | » | 15,00 |
| 95 | Abriter. | *Id.* | *Id.* | » | » | 13,00 | » | 26,00 |
| 350 | Abriter. | Môle tronçonné, formé de piles en maçonnerie de 5m,20 de largeur, réunies par des arches de 4 mètres d'ouverture. Le tout est surmonté d'une muraille formant parapet. | Les piles sont exécutées en maçonnerie de pierre de taille. | 5,20 | 2,60 | 7,80 | 7,80 | 7,80 |
| 330 | A abriter et fournir des quais. | Môle tronçonné comme le précédent.<br>Les vides ont 1m,50 et les pleins ont 19 mèt. | *Id.* | 11,00 | 2,00 | 13,00 | 13,00 | 13,00 |
| 420 | A abriter et à fournir des quais, et concourir à la défense. | Comme le môle de Trajan ci-dessous. | *Id.* | 11,50 | 2,50 | 14,00 | » | 44,00 |
| 400 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | » | » | 18,00 | » | 48,00 |
| 327 | A abriter, à fournir des quais et concourir à la défense. | Au-dessous du niveau des basses mers, un trapèze avec talus, de plus de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur vers le large, et de 45° à l'intérieur.<br>Au-dessus des basses mers, deux rectangles superposés de diverses grandeurs. | La section trapézoïdale inférieure est en enrochements recouverts de gros blocs.<br>Les sections rectangulaires sont avec murs de rive en maçonnerie, avec noyaux intercalaires en blocaille. | 24,00 | 3,00 | 27,00 | 27,00 | 37,00 |
| 505 | A abriter et fournir des quais. | *Id.* | *Id.* | 12,70 | 2,00 | 14,70 | 14,70 | 27,00 au moins. |
| 508 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | 18,50 | 1,30 | 22,00 | 10,00 | 47,00 |
| 456 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | 12,00 | 3,00 | 15,00 | 22,00 | 53,00 |
| 330 | A abriter et à fournir des quais, et concourir à la défense. | Au-dessous du niveau des basses mers, un trapèze avec talus de plus de 2 mètres de base sur 1 mètre de hauteur vers le large.<br>Au-dessus de ce niveau, un trapèze presque rectangulaire. | La sect. trapézoïdale inférieure est en enrochements recouverts de gros blocs.<br>La section rectangulaire supérieure est avec murs de rive en maçonnerie, avec noyau intercalaire en blocaille. | 7,10 | 1,70 | 8,80 | 11,20 | 16,00 |

| DÉSIGNATION DES MÔLES. | VENTS RÉGNANTS. | DIRECTION DES VENTS DANS LES TEMPÊTES. | ORIENTEMENT GÉNÉRAL DE LA LONGUEUR DES MÔLES. | ORIENTEMENT DE L'AXE DE L'OUVERTURE DE LA PASSE. | SURFACE APPROXIMATIVE DU MOUILLAGE ABRITÉ. | LARGEUR DU DÉBOUCHÉ DES PASSES. | DIFFÉRENCE OBSERVÉE OU PRÉSUMÉE ENTRE LES HAUTEURS DES VAGUES DANS LES GROS TEMPS EN DEDANS ET EN DEHORS DES MÔLES. | HAUTEURS APPROXIMATIVES DU COURONNEMENT DU MÔLE AU-DESSUS DES PLUS HAUTES MERS CALMES. | HAUTEURS APPROXIMATIVES DU PARAPET SUPPLÉMENTAIRE À LA PRÉCÉDENTE. | HAUTEURS APPROXIMATIVES DU COURONNEMENT AU-DESSUS DES BASSES MERS. | HAUTEURS APPROXIMATIVES DU COURONNEMENT AU-DESSUS DU FOND. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
| *Môles de Nice.* | | | | | | | mèt. | mèt. | mèt. | mèt. | mèt. |
| Môle extérieur sud, existant . . . | De l'E. à l'O. par le S. | De l'E. à l'O. par le S. | Du S.-E au N.-O. | Passe unique du S.-E. au N.-O. | » | Passe unique de 31 mètres de débouché. | » | 6,00 | » | 7,00 | 15,00 |
| Môle intérieur nord, existant . . . | *Id.* | *Id.* | De l'E. à l'O. | | | | » | 3,50 | » | 4,30 | 15,00 |
| *Alger* (colonies). | | | | | | | | | | | |
| Môle de Cheredin, existant au nord. | *Id.* | N.-O. au S.-E. | E.-N.-E. à O.-S.-O. | » | mèt. q. 39,822 abrités contre les vents d'E. | | » | » | » | » | » |
| Môle-jetée exécuté à l'est . . . . | *Id.* | *Id.* | N.-E. au S.-O. | Du N. au S. | | Passe principale 130 m. | » | » | » | » | » |
| Môle du Lazaret, existant . . . . | *Id.* | *Id.* | » | » | | | » | » | » | » | » |
| *Môles de la Méditerranée en France. Môles du port d'Antibes.* | | | | | | | | | | | |
| Môle de l'est, existant, avec tracé brisé suivant les lignes défensives. | *Id.* | Du N.-E. au S.-E. en passant par l'E. | N. O. au S.-E. | Passe de la baie dirigée de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O. | 390,000 contre les vents d'E. | Passe de la baie 220 mèt. | » | » | » | » | » |
| Môle de l'ouest, existant. . . . . | *Id.* | *Id.* | N. N.-O. au S.-S.-E | Passe du port du N.-O. au S.-E. | | Passe du port 70 mèt. | » | » | » | » | » |
| Môle du port de Cannes. . . . . | Du S.-E. à l'O. par le S. | Du S.-E. à l'O par le S. | Du S.-E. au N.-O. | » | 135,000 contre les vents de S.-O. | » | 4,00 | 2,00 | 5,00 | 2,90 | de 7,50 à 11,60 |
| *Môles de Saint-Tropez.* | | | | | | | | | | | |
| Môle exécuté au sud . . . . . . | *Id.* | Du N. O. au S.-O. par l'O | Du N.-N.-O au S.-S.-E. | Passe unique du N.-O. au S.-E. | 287,000 abrités contre les vents de N.-O. | » | » | » | » | » | |
| Môle exécuté au nord. . . . . . | *Id.* | *Id.* | E.-N. E. à l'O.-S. O. | | | » | » | » | » | » | |
| *Môles de Saint-Nazaire.* | | | | | | | | | | | |
| Môle exécuté à l'est . . . . . . | *Id.* | Du S.-E. à l'O. par le S. | » | » | » | Passe unique 230 mèt. | » | » | » | » | » |
| Môle exécuté à l'ouest . . . . . | *Id.* | *Id.* | » | » | » | | » | » | » | » | » |
| *Môles de la Ciotat.* | | | | | | | | | | | |
| Môle neuf, exécuté au sud . . . . | Du N.-E. au S.-O. par le S. | Du N. E. au S.-O. par le S. | De l'E.-N.-E. à l'O. S.-O. | Du S.-E. au N.-O. | 60,000 abrités contre les vents de S.-E. | Passe unique 105 mèt. | » | » | » | 2,00 | 8,00 |
| Môle Béronard, en exécution à l'est. | *Id.* | *Id.* | Du N.-O. au S.-E. | | | | » | » | » | 6,00 | » |
| *Cassis.* | | | | | | | | | | | |
| Môle du port de Cassis . . . . . | *Id.* | *Id.* | N.-E. au S. O. | » | » | » | » | » | » | » | » |
| *Môles du port de Cette.* | | | | | | | | | | | |
| Grand môle de Saint-Louis, exécuté. | Du S.-O. au N.-E. par le S. | Du S.-O. au N.-E. par le S. | E. et O. | 1re passe à l'O. dirigée du S.-O. au N.-E. | | 1re passe de 300 mèt. | » | » | » | » | » |
| Jetée de Frontignan prolongée . . | *Id.* | *Id.* | N. et S. | | 3,307,400 abrités contre les vents de S.-E. | | 4,00 | » | » | » | » |
| Brise-lame isolé, en exécution. . . | *Id.* | *Id.* | Du S.-E. au N.-O. | 2e passe à l'E. orientée du N.-E. au S.-E. | | 2e passe de 230 mèt. | » | 4,00 | 1,52 | 3,30 | 13,00 |

| LONGUEUR TOTALE OU DÉVELOPPEMENT DU MÔLE. | DESTINATION DU MÔLE. | PROFIL TRANSVERSAL DU MÔLE. | SYSTÈME DE CONSTRUCTION. | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE DU MÔLE — AU COURONNEMENT. | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE DU MÔLE — AU PARAPET. | ÉPAISSEUR APPROXIMATIVE TOTALE A LA CRÊTE. | ÉPAISSEUR TRANSVERSALE APPROXIMATIVE — AU NIVEAU DES BASSES MERS. | ÉPAISSEUR TRANSVERSALE APPROXIMATIVE — AU FOND DE LA MER. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. |
| mètres. 219 | Abriter. | Au-dessous du niveau des basses mers un trapèze avec talus de plus de 2 mètres de base sur 1 mètre de hauteur vers le large. Au-dessus de ce niveau un trapèze presque triangulaire. | Le noyau de la partie inférieure des môles est en maçonnerie fondée par caissons foncés, à laquelle sont adossés, en dedans et en dehors, des enrochements en talus. La partie supérieure est en maçonnerie pleine. | m. 5,30 | m. 2,30 | m. 7,60 | m. 12,00 | m. 36,00 |
| 114 | Abriter. | | | 3,50 | 2,00 | 5,50 | 11,00 | 36,00 |
| 175 | A abriter et à fournir des quais. | *Id.* | | » | » | 100,00 | 100,00 | |
| 125 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | » | » | 37,00 au moins. | 37,00 *Id.* | |
| 70 | *Id.* | *Id.* | | » | » | 10,00 au moins. | 10,00 *Id.* | |
| 469 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | | | | | |
| 154 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | | | | | |
| 189 | A abriter et à fournir des quais. | *Id.* | *Id.* | 8,00 | 4,00 | 12,00 | 22,00 | 50,00 au moins. |
| 40 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | » | » | 20,00 | 20,00 | 56,00 |
| 162 | Abriter. | *Id.* | *Id.* | 5,50 | 1,50 | 7,00 | 7,00 | 43,00 au moins. |
| 90 | A abriter et à fournir des quais. | Comme au môle de Villefranche ci-dessus. | Comme au môle de Villefranche ci-dessus. | | | | | |
| 100 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | | | | | |
| 245 | *Id.* | *Id.* | *Id.* | 12,50 | 1,50 | 14,00 | 14,00 | 32,00 |
| 100 | *Id.* | *Id.* *Nota.* Le parapet, formant muraille, divise les terre-pleins des deux môles en deux parties. | *Id.* | 17,00 | 1,00 | 18,00 | 18,00 | 40,00 environ. |
| 300 | *Id.* | | | | | | | |
| 600 | A abriter et à fournir des quais. | Section trapézoïdale au-dessous des basses mers, à talus de 5 mètres de base pour 1 mètre de hauteur sur le large, et de 45° à l'intérieur. Section rectangulaire au-dessus des basses mers. | Le trapèze inférieur est un noyau d'enrochements recouvert de gros blocs vers le large. Le rectangle supérieur est formé de deux murs de rive avec noyau de blocaille. | » | » | 18,00 au moins. | » | 37,00 |
| 700 | A abriter et à arrêter les ensablements. | Section trapézoïdale de 3 mètres de base pour 1 mètre de hauteur environ vers le large, et de 1m,50 de base pour 1 mètre de hauteur vers l'intérieur. | Noyau en blocaille revêtu de gros blocs vers le large. | » | » | 10,00 au moins. | » | 22,00 |
| 470 | *Id.* | La section transversale est formée de deux trapèzes, l'un supérieur, au niveau des basses mers, à talus inclinés vers le large et abrupts à l'intérieur; l'autre, inférieur à ce niveau, présente vers le large des talus très-allongés, et à l'intérieur des talus à 45°. | Les trapèzes supérieur et inférieur sont tous deux avec noyaux en blocs ordinaires; le trapèze inférieur est recouvert de gros blocs vers le large; le trapèze supérieur est *parementé* en gros blocs du même côté. | 12,00 | 3,85 | 15,90 | 15,90 | 84,00 |

*Avant-ports et ports d'échouage.*

Dans les localités situées en pleine côte et qui *ne sont pas* en arrière *d'une rade couverte*, le port proprement dit est presque toujours précédé de l'avant-port, dont l'utilité spéciale est de faciliter aux navires venant du large les moyens d'amortir graduellement leur vitesse, et de faire serrer leurs voiles avant d'arriver au port de déchargement ou de pénétrer dans les bassins à flot; comme aussi de permettre aux navires partant de faire toutes les dispositions d'appareillage avant d'aller au large. Les ports de Dieppe, Fécamp et celui du Havre, depuis l'établissement de l'arrière-port, dit *port neuf*, ont la précieuse propriété, par leur exposition, de permettre à un navire d'arrêter son *air* en manœuvrant sous voiles.

L'avant-port est aussi ordinairement destiné aux navires en relâche qui supportent l'échouage, et il offre un refuge aux petits bâtiments de cabotage et de pêche qui n'ont pas besoin, à raison de leur faible tirant d'eau, d'attendre le plein de la mer pour entrer ou sortir.

La description et les plans des ports de Dunkerque, Dieppe, Fécamp, du Havre, Cherbourg (port militaire), Saint-Malo, la Rochelle, Cette, ont fait connaître la position et la grandeur de leurs avant-ports. Quand les localités le permettent, on donne, comme au Havre, au moins deux encablures ou 400 mètres de longueur à l'avant-port (à Honfleur, l'avant-port projeté n'aura cependant que 120 mètres de large), pour que les bâtiments puissent entrer sous voile et virer dans le vent. Sinon l'on y supplée, quand cela est possible, par une extension de l'avant-port sur un des côtés.

La largeur de l'avant-port dépend de la quantité et de la grandeur des navires qui entrent et sortent simultanément pour déposer et prendre leur charge, et de ceux qu'une tempête a forcés de relâcher. Si l'avant-port est à échouage, il est désirable que le fond en soit mou ; ainsi, à Saint-Malo, où il est naturellement de roches, on laisse à dessein des alluvions de sable s'y déposer sur une assez grande épaisseur.

Ports d'échouage. A la suite de l'avant-port est le port d'échouage proprement dit, où stationnent les navires qui peuvent supporter l'échouage pour les armements et désarmements. En Angleterre, on lui donne le nom de *dry-dock*, mais particulièrement lorsqu'il est bordé de magasins destinés au dépôt temporaire ou définitif des marchandises.

S'il peut y avoir des quais des deux côtés, la largeur du port doit être au moins telle, que sur la longueur de chaque rive il y ait deux et même trois lignes de navires, et qu'entre ces deux groupes, il y ait une passe pour les mouvements d'entrée et de sortie. Dans chaque groupe il faut réserver du reste des voies permanentes ou facultatives pour communiquer de la passe centrale aux *chantiers de construction*, *grils de carénage*, *bassins à flot*, *formes de radoub* établis sur les rives.

Le port d'échouage de commerce de Cherbourg, sur sa longueur actuelle de 210 mètres et sa largeur de 200 mètres, a reçu, dans les gros temps, jusqu'à 150 bâtiments formant un tonnage total de 12,000 tonneaux.

Les rives de l'avant-port, comme celles du port, sont bordées de quais, d'estacades en bois ou de plans inclinés, de cales débarcadères, d'échelles de sauvetage, d'escaliers pour servir également au stationnement des navires en charge ou en décharge et à leurs communications avec les terre-pleins des rives.

L'on place aussi autant que possible dans l'avant-port ou dans la partie la plus voisine de la mer des ports d'échouage sans avant-ports, les divers chantiers de construction et de radoub mentionnés plus haut, et par les motifs suivants :

1° Afin de laisser la plus grande longueur possible de quais dans le port proprement dit et dans le voisinage des magasins du commerce et de moins déranger les navires stationnants ;

2° Parce que les établissements en question exigent de grandes superficies qu'on n'obtiendrait que difficilement à prix élevé dans l'intérieur d'une ville maritime ;

3° Parce que les ouvrages utiles pour le sauvetage et la réparation d'un bâtiment avarié doivent être à sa portée.

Ce chantiers ne doivent pas d'ailleurs, autant que possible, et à moins d'une *agitation trop violente dans l'avant-port* ou port d'échouage, être placés sur les rives et à l'intérieur des bassins de flot ou docks dont il sera question plus bas ; cas on perdrait l'avantage de pouvoir les visiter à chaque basse mer, et les fermetures des formes *sèches de radoub*, entre autres, supporteraient constamment la pression de l'eau maintenue à un niveau permanent dans les *bassins de flot*.

L'étenduo, superficielle, le développement des quais d'un port d'échouage, dépendent au reste de sa destination. Ainsi, quand ce port doit servir à la fois aux relâches momentanées des navires qui s'y réfugient de tous côtés pendant le gros temps, aux armements et désarmements militaires et aux opérations du commerce local, il réclame des dimensions bien autrement grandes que s'il ne servait qu'à ce dernier objet. Mais cette angmentation doit porter évidemment beaucoup plus dans ce cas sur la *surface* que sur le *périmètre* des quais. Il faut s'attacher au contraire à un grand développement de quais, lorsque le port n'est consacré qu'à des exportations ou importations de marchandises.

Aux États-Unis d'Amérique, des terre-pleins espacés de 90 à 120 mètres soutenus par des quais de 15 à 20 mètres de largeur, s'avancent en mer perpendiculairement aux rives des ports, sur 60 à 90 mètres de longueur, et forment ainsi des enceintes d'eau dont trois côtés peuvent servir au stationnement et aux opérations de débarquement et d'embarquement des navires.

Ces ouvrages, qui exigent des dragages annuels, sont du reste des propriétés particulières dont l'usage est réglé par des tarifs.

Les terre-pleins insubmersibles des quais riverains de l'avant-port et du port ont une largeur en rapport avec l'*activité du commerce local*. Le minimum devrait être de 20 mètres, car ces terre-pleins servent en même temps de routes et de places ; cependant, dans beaucoup de localités, l'on a été forcé de se restreindre jusqu'à 8 mètres. **Quais et plans inclinés sur les rives des ports.**

Des maisons élevées du côté des vents régnants préviennent au reste l'agitation locale de la surface des eaux.

Les quais sont tantôt des murailles presque verticales en maçonnerie ou en bois, tantôt des plans inclinés allongés à la pente minimum de $\frac{1}{10}$. Ce dernier système, dans les ports à marée, enlève une grande surface de terrain aux besoins du commerce, expose les marchandises à être avariées dans leur dépôt sur une plage humide et vaseuse, enfin exige des ponts embarcadères fixes ou des ponts de bateaux et des ras analogues à ceux qui ont été décrits dans la vingt-troisième leçon pour communiquer du pont des navires à flot ou échoués avec les rives insubmersibles.

Dans les ports non sujets aux marées, des plans inclinés auraient moins d'inconvénients, surtout si l'on ne plaçait leur seuil inférieur qu'en contre-haut du niveau de l'eau.

Néanmoins l'on préfère généralement des murailles presque verticales partout où il est possible de les établir, parce que les navires peuvent ainsi toucher aux terre-pleins, et que les mouvements des marchandises et munitions s'opèrent alors avec facilité à l'aide de grues fixes ou amovibles, ou à l'aide des mâts et gréements des bâtiments eux-mêmes.

Pl. 8. Fig. 42 et 44. En Angleterre, on a dressé les parois de ces quais en surfaces courbes, analogues à celles des flancs des navires, pour le double objet de rendre les quais plus résistants aux poussées des terres, et de répartir sur une plus grande surface les chocs éventuels des navires ; mais il en résulte plus de dépense dans l'exécution.

Dans l'origine, beaucoup de ces murailles ont été faites en bois ou en maçonneries de pierres sèches et même en fascinages. Les quais en bois sont encore en usage, à cause de la rareté de la pierre, en Hollande, en Flandre, et dans les ports des États-Unis à raison de la grande abondance du bois. Les figures 625 des planches représentent quelques-uns de ces ouvrages. Les pieux de la face des quais sont jointifs aux États-Unis, et la plate-forme des terre-pleins est bordée en bois ou pavée en cailloux ronds.

Pl. 125. Fig. 625.

Le rapide dépérissement de quelques-unes de ces constructions, la facile destruction des autres par le choc des vagues et des navires, y ont fait substituer progressivement des murs de soutènement en maçonnerie de mortier hydraulique avec moellons ou pierres de taille.

Pour mettre leurs parements à l'abri des chocs de toute espèce, on incruste assez ordinairement de distance en distance des pièces de bois dans des rainures verticales, et l'on borde dessus avec des madriers ou croûtes de bas prix qu'on renouvelle quand ils sont brisés. Quelques ingénieurs pensent que les quais sont plus dégradés par le scellement de ces poteaux de garde qu'ils ne le seraient par le frottement des bâtiments.

Pl. 69. Fig. 338, 39, 340, 341, 342, 343 et 344. On a déjà dit, à la vingt-cinquième leçon, qu'on exécute en Angleterre et notamment à Deptford des quais en maçonnerie de béton ou de moellons et même en terre revêtus de plaques de fonte ; des pieux creux en fonte de fer engagés dans le sol retiennent les

plaques. Ce système pourrait convenir dans les localités très-infestées de vers marins et où les pierres de taille seraient rares et d'une taille aussi dispendieuse que celle du granit.

Les quais des avant-ports et ports d'échouage pour la marine marchande présentent au reste, comme les jetées et môles, des arganeaux espacés de 35 mètres en 35 mètres et même de 20 mètres en 20 mètres suivant la longueur des navires. Ces arganeaux sont placés un peu au-dessus du niveau des hautes mers. Quelquefois on en scelle aussi au niveau des basses mers pour l'amarrage du fond des navires. De plus, sur les terre-pleins en arrière des quais doivent être rangés, à la même distance que les arganeaux, des poteaux en bois, bornes en pierre ou canons en fonte équidistants et servant au même objet.

Dans les avant-ports et ports militaires, la grandeur des navires fera disposer les bornes et canons à 19 mètres environ de distance les uns des autres.

Enfin des réverbères, éclairés à l'huile ou au gaz, espacés entre eux de 50 à 70 mètres et à 5 mètres de distance de l'arête des quais, portés par des poteaux en bois ou par des candélabres en fonte, faciliteront la surveillance des officiers de port et des douaniers.

Les arganeaux, renfermés dans des sortes de niches des parements, sont formés ordinairement de tiges à pattes en fer et mieux en cuivre qui s'enracinent dans l'épaisseur des murailles et qui sont terminées extérieurement par un piton dans lequel on engage des doubles charnières amovibles, soit en fer ou en cuivre, sur lesquelles les cordages se fixent. Les figures 626 des planches représentent des arganeaux pour l'amarrage des bâtiments de guerre de premier rang. Pl. 125. Fig. 626.

Dans les quais avec revêtements en fonte mentionnés ci-dessus et même dans quelques quais en maçonnerie en Angleterre, les arganeaux sont en quelque sorte indépendants de ces revêtements et sont retenus par de longs tirants en fer, aboutissant à des points fixes dans l'intérieur des remblais. Pl. 125. Fig. 627.

On a employé à Cherbourg, au lieu de pitons à boucles, de simples montants *métalliques* ou *barreaux* posés verticalement et horizontalement sur la face extérieure de la niche ordinaire des arganeaux, et autour desquels les cordages sont roulés. Pl. 125. Fig. 628.

On y trouvait de plus grandes facilités pour les amarrages lorsqu'ils doivent être très-prompts ; car la boucle à charnière est souvent rabattue dans sa niche, et difficile à détacher et à mouvoir.

Les poteaux et bornes d'amarrage doivent être d'une grande résistance et par leur tenue dans le sol et par leurs dimensions ; l'usage plus que le calcul a réglé les dimensoins de ces objets dans les diverses localités. Le système adopté par M. l'ingénieur Frissard au Havre, représenté figure 629 des planches, semble très-convenable pour les ports de commerce, et a servi dans les gros temps à la tenue simultanée de 4 ou 5 navires. Pl. 126. Fig. 629.
Dans les ports militaires, on implante en terre par la culasse de vieux canons en fonte hors de service.

Pour les dimensions des murailles des quais et les modes de fondation et d'exécution, l'on renvoie aux principes généraux énoncés dans les treizième et trente-quatrième leçons, en faisant seulement remarquer de nouveau que, dans l'évaluation des efforts auxquels ces murailles auront à résister, il faut tenir compte ici :

1° De l'action alternative des marées sur les remblais en arrière des quais et sur les maçonneries elles-mêmes ;

2° Des amas considérables de marchandises et de munitions quelquefois d'un très-grand poids qui restent momentanément déposés sur le bord des quais et des remblais en arrière ;

3° Du choc et de la traction des navires amarrés, lesquels tendent à se mouvoir avec une certaine vitesse, soit par les vagues, soit par les courants ;

4° De l'effort des vagues pendant les tempêtes.

Pl. 126. Fig. 630. Les figures 630 des planches représentent divers profils de quais des ports de Dieppe, du Havre et de Cherbourg. Le prix du mètre courant des quais en maçonnerie parementés en pierres de taille, *dans les ports à marée*, varie depuis 1,500 jusqu'à 3,000 fr. Au port du Havre, le prix moyen de plus de 1286 mètres de quais a été d'environ 2,200 fr.

Les quais en maçonnerie des ports de la Méditerranée sont fondés pour la plupart au niveau des basses mers sur des enrochements et quelquefois sur des massifs de béton immergés à l'aide de caissons non foncés ; ce dernier mode paraît préférable lorsque le fond est solide, parce que les enrochements immergés empêchent l'accostage des navires.

Quelques-uns de ces quais ont été construits à l'aide de batardeaux qui avaient à soutenir 7 à 8 mètres de charge d'eau permanente.

## *Bassins de flot, darses et docks.*

**Considérations générales.** Les bassins de flot, qui appartiennent particulièrement aux *ports sujets aux marées*, sont des enceintes isolées d'eau qui ont pour objet de conserver continuellement à flot et à l'abri de l'agitation de la mer les bâtiments qui ne peuvent supporter l'échouage, soit à raison de leur grandeur et de leur système de construction, soit à raison de la nature du fond. Ce n'est d'ailleurs que dans ces bassins qu'on peut, à défaut de formes sèches ou du remontage sur les cales de construction, faire *à loisir* la visite des navires, leurs réparations, et les doubler à l'aide de l'opération dite *abatage en carène*.

Dans les ports de la Méditerranée où les dénivellations de la marée sont presque nulles, les bassins qui prennent le nom de *darses* ont en tout temps la profondeur nécessaire aux bâtiments. Leur isolement complet par des fermetures n'y aurait pour objet que de les soustraire à l'agitation de la mer, et n'est presque jamais effectué à cause de la dépense énorme de construction des écluses à portes et des lenteurs qu'il en résulterait pour les mouvements de la navigation. On se borne à entourer

les darses par des môles et à resserrer autant que possible leur débouché vers le large.

Les bassins à flot, comme les darses, prennent aujourd'hui le nom anglais de *docks*, toutes les fois que leurs quais sont bordés de bâtiments pour la visite et le dépôt temporaire ou permanent des marchandises.

On a vu, par la description des principaux ports français, de quelle importance sont les bassins à flot dans les grandes places commerciales. L'*Histoire du Havre*, par M. l'ingénieur Frissart, l'ouvrage de M. le baron Charles Dupin, intitulé *Voyages dans la Grande-Bretagne*, et le *Voyage en Angleterre* de M. l'ingénieur Frissart, donnent des détails intéressants sur les principaux bassins ou docks du Havre, de Londres et d'autres ports anglais.

Les ressources disponibles et les besoins nouveaux de chaque localité ont déterminé presque partout et progressivement les emplacements, dispositions, formes et dimensions superficielles des bassins de flot et darses. Ainsi, comme on l'a déjà dit pour les ports d'échouage, si les bassins à flot ou darses ne doivent servir qu'au stationnement momentané et pendant les relâches d'un grand nombre de navires réfugiés par le mauvais temps, il faut rechercher de préférence les emplacements les plus près du chenal d'entrée, et les formes qui procurent la plus *grande surface d'eau* et le plus *grand nombre de lignes de navires*. Quand ces enceintes d'eau sont spécialement affectées aux armements et désarmements, aux chargements et déchargements de navires pour la localité, c'est au contraire au voisinage des magasins du commerce, à de grands *développements de quais*, au moindre nombre de lignes *nécessaires* de navires qu'il conviendra de s'attacher.

Enfin une distinction importante est encore à établir entre les ports auxquels les navires peuvent accéder à toute hauteur de marée, et ceux où les bâtiments sont forcés d'attendre soit la mi-marée, soit la marée haute ordinaire, soit même les marées de vives eaux. Ainsi que M. l'ingénieur Frissart le fait observer dans le mémoire intitulé: *Voyage en Angleterre*, lorsque les jours de hautes mers de vives eaux coïncident avec des vents devenus favorables et qui ont été longtemps contraires, les navires arrivent par flottes et exigent beaucoup de place. M. Frissart cite à ce sujet le Havre, où l'on a vu entrer dans *une seule marée* jusqu'à vingt navires, et souvent quinze.

Les bassins-docks en Angleterre sont subdivisés en plusieurs catégories: la première est celle des docks destinés aux marchandises en exportation, la seconde celle des docks pour les marchandises en importation. Cette deuxième catégorie se subdivise elle-même en docks pour les marchandises admises à la circulation, et en docks pour les marchandises probibées qui ne sont admises qu'en *transit*.

La disposition la plus convenable pour un groupe de docks serait qu'ils eussent, avec des communications facultatives de l'un à l'autre, des entrées séparées et directes, soit dans une espèce d'avant-bassin commun, soit dans le port d'échouage et vers l'extérieur. Les docks des Indes orientales et occidentales, ceux de Londres et de Sainte-Catherine à

Londres, la plupart des docks de Liverpool présentent cet avantage. A moins de circonstances locales qui s'y opposent, il faut au moins qu'il y ait une entrée et une sortie placées aux deux extrémités du groupe des docks qui se commandent.

Lorsqu'on n'est contrarié par aucunes sujétions, l'entrée principale des avant-bassins, bassins, docks ou darses est placée dans l'axe de la passe d'entrée du port, à moins qu'il ne résultât de cette position l'impossibilité dans quelques circonstances pour un navire d'entrer dans le bassin pendant la marée même *où il aurait franchi la passe.*

Des directions rectilignes ou d'une courbure peu sensible pour les rives des bassins, une surface allongée le plus possible en parallélogramme, ou toute autre forme donnant, à surface égale de zone, le plus de développement de quais accostables, sont les meilleures dispositions à prendre pour les bassins de flot et docks.

Les quais des bassins à flot ou docks sont munis d'ailleurs d'arganeaux, de bornes, de réverbères d'éclairage, comme ceux des avant-ports et ports d'échouage. L'espacement moyen dépend de la grandeur et du tonnage des navires admis.

La largeur des bassins de flot ou docks, à moins de sujétions locales, devrait être fixée pour deux lignes de navires sur chaque rive avec une passe au milieu. Cependant, dans la plupart des docks anglais, les navires sont placés sur trois lignes de chaque côté, et laissent au centre, entre les deux groupes de lignes, l'étendue nécessaire pour les manœuvres; alors 80 à 100 mètres de largeur suffisent pour les navires de grandeur ordinaire de 500 à 600 tonneaux. En se restreignant à deux lignes, la largeur pourrait être elle-même réduite à 60 ou 80 mètres pour les navires de même tonnage.

A Calais, le bassin de flot projeté aura 75 mètres de largeur. Au Havre, les bassins de flot pour les plus grands navires du commerce ont de 80 à 100 mètres de large. Au port militaire de Cherbourg, le nouveau bassin de flot a 230 mètres de large sur 270 mètres de long. Au nouveau bassin de Saint-Malo et de Saint-Servan, où il n'y aura des quais que d'un côté, la largeur du sillon de stationnement et de passage des navires le long des quais a été fixée à 150 mètres sur environ 700 mètres de longueur, et réduite à 80 mètres sur tout le reste du développement.

Au bassin de flot projeté pour le port de commerce de Lorient, qui n'aura des quais que d'un côté, la largeur a été fixée à 20 mètres, pour que des navires puissent être à côté l'un de l'autre, l'un en stationnement, l'autre en marche. Enfin de nouveaux docks à Marseille ont été projetés sur 50 mètres de largeur pour des bâtiments de 400 à 500 tonneaux.

Un tableau final indiquera les dimensions, surfaces d'eau, développements de quais et autres détails relatifs à un grand nombre de bassins de flot et docks existants.

*Modes de communication des bassins de flot et docks avec les avant-ports et ports d'échouage.*

1er *mode*. Passage sans sassements.

Le mode de communication le plus simple et le plus habituel entre les bassins de flot

ou les docks (*wet-docks*) et les avant-ports et ports d'échouage est celui d'une écluse simple *sans sassements;* c'est-à-dire que l'on soutient à basse mer, par des fermetures *amovibles dites d'ebbe*, les eaux entrées à marée haute, et que le passage s'effectue en établissant l'équilibre entre les eaux à l'intérieur du bassin ou dock et les eaux de la marée à l'extérieur.

Le cas le plus ordinaire est celui où cet équilibre a lieu *à mer étale haute.* Si la marée haute du lendemain est plus forte que celle de la veille, elle repousse elle-même les fermetures d'ebbe qui avaient retenu, à basse mer dans les bassins ou docks, les eaux entrées à haute mer de la veille. Si les deux marées ont atteint le même niveau, le déplacement des fermetures et l'ouverture du passage par l'écluse s'opèrent facilement à mains d'hommes. Enfin si la marée du lendemain est moins forte que celle de la veille, on est forcé, ou d'ouvrir avec des cabestans ou autres appareils les fermetures d'ebbe, malgré l'excédant de charge qu'elles supportent vers l'intérieur du bassin ou dock, ou de faire préalablement écouler la tranche d'eau supérieure qui s'y trouve en excédant.

Ce dernier expédient est évidemment applicable aussi au cas où l'on voudrait effectuer le passage à une époque de la marée diurne autre que l'étale, par exemple entre la mi-marée montante et la mi-marée descendante en vive eau, et même en morte eau.

Mais alors il faut que les bâtiments en stationnement simultané dans le bassin ou le dock ne risquent pas d'échouer par l'écoulement de la tranche d'eau intérieure en excédant du niveau extérieur de la marée. Cette condition met quelquefois un grand nombre de petits bâtiments d'un médiocre tonnage chargés et de grands bâtiments allégés dans la dépendance d'un petit nombre de navires à grand tirant d'eau, et leur rend ainsi impossible la sortie du bassin ou du port pendant plusieurs jours, quand même les vents seraient favorables et que leur mission l'exigerait.

**Bassins ou docks dits demi-marée (*half-tide docks*).**

En Angleterre et dans les ports tels que ceux de Londres, Livorpool, Bristol, où l'affluence des navires de toute grandeur et la diversité de leurs destinations rendaient cette dépendance très-onéreuse au commerce, on a établi quelques bassins ou docks dits de *mi-marée* (half-tide docks). La communication s'établit entre le dehors et l'intérieur dès la mi-marée montante et subsiste jusqu'à la mi-marée descendante, en morte eau comme en vive eau. Le niveau de l'eau y est d'ailleurs à volonté retenu à une époque quelconque de la marée baissante, mais jamais au-dessous du plan moyen à peu près invariable des marées.

Bientôt les besoins progressifs du commerce, la rapidité de plus en plus grande des relations maritimes, la *périodicité des époques de départ et d'arrivée* ont réclamé davantage. On a voulu qu'à une époque quelconque de la marée, *quelle que fût la différence de niveau des eaux* à l'intérieur et à l'extérieur, et *sans réduction notable dans la profondeur d'eau intérieure du bassin ou dock*, un navire pût franchir l'écluse. De là l'application aux écluses de mer d'un deuxième mode, celui des sassements, emprunté à la navigation intérieure.

2ᵉ *mode*. Avec sassements.

Dans ce mode, un sas ou un bief éclusé, avec fermetures d'ebbe à l'amont et à l'aval, rachète la différence de niveau. Le sas ou bief se remplit, soit par l'écoulement d'une certaine quantité d'eau du bassin ou dock, soit par un affluent quelconque d'eau ; et les moyens indiqués dans la trentième leçon pour économiser l'eau des éclusées seront ici au besoin susceptibles d'application. Au port de Bristol, un canal *alimentaire* (feeder) va chercher l'eau des sassements à l'amont de la rivière d'Avon, dont l'ancien lit a été transformé en bassin de flot dans la traversée de la ville.

Aux docks de Sainte-Catherine à Londres, des machines à feu de la force ensemble de cent chevaux restituent l'eau écoulée des docks par les éclusées en morte eau. Dans d'autres docks, de vastes réservoirs se remplissent à haute mer dans les fortes vives eaux, et fournissent dans les mortes eaux les mêmes éclusées de sassements.

Les docks anglais de quelques ports ont été échelonnés de manière que les docks intermédiaires servissent de *biefs éclusés* aux docks extrêmes, et qu'un grand nombre de navires pussent passer à la fois.

Le système des sassements, ici comme dans la navigation intérieure, pourra au reste faire monter les navires par une série de sas ou biefs accolés jusqu'à des bassins ou docks situés à une hauteur quelconque *au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe*, tels que des étangs naturels et artificiels, et des réservoirs alimentés par des cours d'eau ou même par l'élévation artificielle des eaux de la mer. Il n'y aura d'autre limite au relèvement du fond des bassins et docks que la dépense de ces ouvrages étagés et celle de l'alimentation des eaux par sassements. Quelques ports de la Méditerranée pourraient donner lieu à des applications de cette disposition.

La manœuvre pour le passage des navires dans les écluses à sas ou à bief est fort simple. A la marée montante, les portes vers le large restent ouvertes ; les bâtiments entrent avec le courant de flot, et, suivant les circonstances, passent immédiatement par sassements ou attendent que la différence de niveau des eaux intérieures et extérieures soit arrivée à son *minimum*. Au moment du passage, on ferme le sas vers le large, et on l'ouvre vers l'intérieur dès que l'eau de remplissage y est montée au même niveau que celle du bassin. Les bâtiments sortants remplacent les bâtiments entrants ; on fait écouler l'eau surabondante et l'on rouvre la communication avec le dehors.

**Avantages et inconvénients respectifs des deux modes.**

Le premier mode est évidemment applicable à ceux des ports de deuxième ordre où il y a déjà une grande profondeur d'eau même en morte eau ; dans lesquels les *dénivellations des marées* sont faibles relativement *aux tirants d'eau des bâtiments habituellement stationnants ;* enfin lorsque ces tirants d'eau diffèrent peu entre eux.

Mais dans les localités où les eaux de la mer sont très-chargées de troubles, ce mode expose les bassins et docks à des envasements rapides. L'enlèvement des dépôts occasionne non-seulement une dépense annuelle considérable, mais aussi des chômages qu'il faut éviter bien plus soigneusement encore dans la navigation maritime qu'on n'évite les chômages analogues des canaux dans la navigation intérieure.

Le deuxième mode convient aux ports importants où les circonstances contraires à la

sortie sont fréquentes, et où il serait essentiel de profiter immédiatement des chances favorables ; et plus particulièrement encore à ceux de ces ports dans lesquels les dénivellations des marées sont considérables et fournissent dans les hautes mers de vives eaux des ressources pour les sassements à morte eau.

Mais ce deuxième mode présente, à côté de l'avantage de pouvoir faire entrer et sortir un bâtiment dès qu'il y a une profondeur suffisante sur le radier de l'écluse d'aval ; à côté de l'autre avantage de pouvoir être à volonté remplacé par le premier mode, l'inconvénient d'une bien plus grande dépense de construction et d'entretien.

La longueur d'une écluse simple dépend uniquement en effet du système de fermeture adopté ou du genre de ponts mobiles par lesquels la communication entre les deux rives est établie. L'imperméabilité n'est indispensable qu'en dedans du busc ou heurtoir des fermetures qui soutiennent l'eau intérieure.

Une écluse à sas exige une seconde paire de portes d'ebbe et un intervalle entre les deux jeux de portes, égal à la longueur du plus grand navire qui puisse être admis dans le bassin, puisque des bâtiments allégés peuvent vouloir profiter, pour leur sortie immédiate, des facilités que donnent les sassements.

Toute la longueur du sas jusqu'au radier d'aval doit être de plus imperméable à l'eau sous la charge maximum lors des sassements.

Enfin, pour tirer de cette opération tout le parti possible et ne pas trop retarder, par le temps qu'elle exige, le passage de plusieurs navires se présentant simultanément pour l'entrée ou la sortie, on est conduit à donner, comme au sas éclusé de Saint-Malo, des dimensions de largeur telles, que plusieurs navires puissent y être reçus en même temps, et que le sas devienne ainsi un véritable bief ou dock.

Les sujétions locales, les besoins du commerce détermineront le choix à faire. Mais dans l'appréciation de ces besoins, il faut tenir compte de l'avenir, pour n'avoir point à refaire plus tard les ouvrages sur une nouvelle échelle plus grande. Ainsi, tel port qui naturellement, ou par des travaux d'art, pourrait admettre à certaines époques de la marée diurne et en morte eau des bâtiments de 600 à 800 tonneaux, n'en reçoit aujourd'hui que du port de 300 à 400. Les bassins de flot ou docks y doivent donc être disposés non sur le tonnage actuel, mais sur le tonnage probable dans l'avenir.

Les points principaux à fixer dans la construction d'un bassin ou dock *avec écluse simple*, sont :

La cote du radier de l'écluse, celle du fond du bassin, et la largeur de l'écluse.

**Profondeur du radier des écluses simples.**

La limite de profondeur du radier d'une écluse est celle du sol du port d'échouage, et même dans les ports sujets aux atterrissements, on se tient en deçà de toute la hauteur des dépôts entre les époques des dragages périodiques.

Mais comme les difficultés de construction, d'entretien et de réparations d'une écluse croissent dans une progression très-rapide avec l'approfondissement du radier, on l'a quelquefois relevé beaucoup plus haut que le sol du port d'échouage, surtout dans les ports où les dénivellations des marées sont très-considérables de la morte eau à la vive eau.

Ainsi on s'est astreint :

1° Tantôt à ce que des bâtiments chargés d'un tonnage déterminé puissent franchir l'écluse à mi-marée ou à toute autre époque de la marée diurne;

2° Tantôt à ce que le passage ne leur soit praticable qu'à toutes les hautes mers et pour tous les jours de marée où ils pourraient entrer dans le port d'échouage et en sortir ;

3° Tantôt enfin de manière que les passages n'aient lieu que pendant un certain nombre de jours avant et après le jour lunaire des vives eaux de chaque mois.

Dans toutes les combinaisons, il faut d'ailleurs forcer le chiffre du tirant d'eau du maximum de dépression des vagues alternatives dans les gros temps.

Dans les grands ports de commerce où il y a plusieurs bassins ou docks et où l'affluence des navires de même tonnage et dans les mêmes conditions de navigation se prête à la spécialité, les seuils des radiers des écluses sont à des profondeurs différentes appropriées à chaque catégorie, et les écluses dont le radier est le plus élevé appartiennent aux bassins ou docks les plus éloignés du port d'échouage. Ainsi les expéditions et arrivages de la Baltique comportent, il est vrai, des bâtiments d'un très-grand tirant d'eau ; mais à cause des glaces, ces bâtiments ne peuvent partir qu'au printemps et doivent être de retour avant l'automne. Les marées d'équinoxe donnent la possibilité de leur faire franchir des écluses à radiers élevés qui en temps ordinaire ne seraient praticables que pour des navires moins considérables.

Quelques docks en Angleterre ont deux sas dont les radiers sont à des niveaux différents, coordonnés avec les variations du tonnage des navires et avec la condition de leur passage plus ou moins prompt.

Cette combinaison économise l'eau des sassements et le temps du trajet; mais les deux sas emploieront plus d'espace et coûteront souvent plus qu'un seul sas d'une dimension assez grande pour admettre simultanément autant de bâtiments que les deux sas distincts.

Le tableau final relate les profondeurs d'eau des radiers et des écluses aux mortes eaux et aux vives eaux de divers bassins-docks français et étrangers.

*Cote de profondeur du fond des bassins ou docks.*

Habituellement le fond des bassins est de 30 à 40 centimètres plus bas que le radier ou heurtoir des écluses, ou s'élève par une légère pente pour assurer l'écoulement complet des eaux en cas de vidange.

Mais dans les ports où les marées ont de fortes dénivellations et dans lesquels les bâtiments d'un grand tirant d'eau peuvent être assujettis, comme au port militaire de Cherbourg, à ne passer qu'à certaines heures de la marée diurne, ou seulement aux vives eaux de chaque mois, on a établi le fond des bassins plus bas que le radier de l'écluse de toute la différence entre les dénivellations correspondantes des marées.

Ainsi au port militaire de Cherbourg, les vaisseaux de premier rang, tout armés, peuvent traverser l'écluse d'entrée du bassin de flot aux mêmes jours et heures où ils peuvent entrer dans l'avant-port, et le radier de l'écluse est à 5 mètres environ au-des-

sus du fond de l'une et de l'autre enceinte d'eau, de manière qu'aux plus fortes basses mers, les portes du bassin étant même ouvertes, les bâtiments flottent encore.

Dans les ports sujets aux alluvions, cette disposition en hâte le dépôt dans les bassins et en rend l'enlèvement bien plus difficile. Elle complique aussi dans beaucoup de cas la construction de l'écluse et celle des quais du pourtour du bassin ou dock.

Il est évident du reste que la superficie d'un bassin ou dock peut, suivant les exigences de la marine militaire ou marchande, être distribuée en zones dont le sol soit à différents niveaux, comme au nouveau bassin de Saint-Malo, en ayant soin de placer les plus profondes dans le voisinage de l'écluse.

La largeur des écluses dépend de celle des bâtiments les plus considérables qui auront à les franchir avec la profondeur d'eau que présentera le radier de l'écluse. Largeur des écluses.

Avant l'application des machines à vapeur à la navigation, les tonnages *de charge* et les largeurs du maître-bau en dehors des bordages suivaient une certaine loi, assez bien représentée par une parabole dont les tonnages auraient été les abscisses et les largeurs du maître-bau les ordonnées. On peut voir dans les tableaux de l'appendice n° 3 du tome II du Programme, qu'en donnant 20 à 30 centimètres de plus sur chaque rive, les largeurs des écluses auraient pu être établies comme suit :

8 mètres pour le passage de navires de 200 tonneaux et au-dessous.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 | — | 250 | id. |
| 10 | — | 350 | id. |
| 11 | — | 500 | id. |
| 12 | — | 700 | id. et corvettes de 32 de la marine militaire. |
| 13 | — | 900 | id. et frégates de troisième rang de 46 canons. |
| 14 | — | 1200 | id. |
| 15 | — | 1350 | id. et frégates de premier rang, nouveau modèle. |
| | — | | |
| 15,50 | — | Pour frégates de premier rang ou vaisseaux de 82 canons (ancien modèle). | |
| 16,70 | — | Pour vaisseaux de troisième rang de 90 canons. | |
| 17,30 | — | Pour vaisseaux de deuxième rang de 90 canons. | |
| 17,70 | — | Pour vaisseaux de premier rang. | |

Les bateaux à vapeur, avec leurs roues motrices en saillie sur les flancs des bâtiments, ont créé de nombreuses sujétions. Les plus grands de ces bateaux, de la force de 220 chevaux, qui ne correspondaient pour leur tirant d'eau et charge qu'à des bâtiments de 250 tonneaux, étaient assimilables pour leur largeur maximum à des vaisseaux de troisième rang. Mais aujourd'hui que ces bateaux sont employés comme paquebots de *long cours* entre l'Europe et l'Amérique ; que la force de leurs appareils s'est élevée à plus de 500 chevaux, leur largeur en dehors des saillies des roues est portée jusqu'à

20m,20, et récemment la largeur de nouvelles écluses de bassins destinés à recevoir ce genre de bâtiments a été fixée à 21m,60. A la vérité, les roues pourraient être démontées pour le passage des écluses; mais la saillie des arbres n'en resterait pas moins; il y aurait donc à démonter aussi ces dernières, ce qui présenterait de telles difficultés qu'on préférerait probablement laisser les bateaux à vapeur dans les ports d'échouage.

En Angleterre, on paraît convaincu que l'on est arrivé à la limite maximum des machines et des roues, et que les essais multipliés qu'on fait aujourd'hui ponr diminuer la dépense du combustible et l'encombrement à bord des bateaux à vapeur dispenseront d'augmenter ultérieurement les écluses.

Pl. 88. Fig. 411.

Au reste, M. l'ingénieur Frissart vient de renouveler au Havre, pour l'écluse de l'ancien bassin du Roi, le moyen (déjà représenté figures 441 des planches) qui avait été adapté à l'écluse de Flessingue pour l'admission des bâtiments de guerre, celui de n'élargir les écluses que dans la partie supérieure correspondante aux tambours des roues des bateaux à vapeur.

Radiers des écluses à sas.

Le niveau du radier des écluses à sas, du côté de l'avant-port, est réglé comme celui des écluses simples.

Le radier des écluses à sas, du *côté du bassin ou du dock*, peut être avec ou sans mur de chute. Un radier sans mur de chute se prête mieux évidemment à toutes les éventualités et à toutes les variétés de tonnage du commerce maritime, et réduit le nombre des sassements nécessaires; mais il soumet les fermetures d'ebbe à une charge d'eau plus forte que s'il y avait ou un mur de chute. Toutefois, on ne construit guère de ces murs que dans les localités où les dénivellations des marées sont très-fortes, et fournissent une tranche *d'eau superflue pour les besoins de la navigation;* la hauteur de cette tranche est alors celle du mur de chute. Ce dernier est du reste inévitable lorsqu'il s'agit de communiquer avec des enceintes d'eau *alimentées indépendamment des marées.*

Largeur et longueur des écluses.

La largeur des sas d'écluses dépend du nombre de bâtiments qu'on veut faire passer simultanément par le même sassement; leur longueur dépend de celle du plus grand bâtiment qui aura à franchir l'écluse; cette longueur devra être mesurée sur le bâtiment au niveau des terre-pleins des bajoyers. Les tableaux déjà cités de l'appendice n° 5 du tome II du Programme donneront à cet égard les indications nécessaires.

Il est avantageux de prendre, pour les deux dimensions du sas, des cotes multiples des longueurs et largeurs des navires de fort tonnage, afin que le plus grand nombre d'entre eux puissent franchir le passage avec le même sassement.

Pl. 105. Fig. 551.

Dans le plan du port de Saint-Malo (voir les figures 551 des planches) est indiqué le nouveau sas éclusé de grande dimension qui y est projeté.

Doubles fermetures d'ebbe et fermetures de flot des écluses des bassins.

Comme des accidents dans la manœuvre des fermetures des écluses de bassins et de docks occasionneraient une baisse inattendue dans les eaux des retenues, et exposeraient à des avaries graves certains bâtiments *fins* en stationnement, on a quelquefois exécuté deux systèmes de fermetures d'ebbe dans les écluses.

Enfin dans les ports où le gros temps se fait sentir jusqu'à l'entrée des écluses et pourrait, en ouvrant violemment les fermetures d'ebbe, faire irruption dans l'intérieur des bassins et docks, on a pris l'un des deux partis suivants : 1° celui de disposer ces fermetures de manière qu'elles résistent dans le sens inverse; 2° celui d'établir un jeu spécial de fermetures de flot. L'une et l'autre disposition auront aussi l'avantage de rendre possible la mise à sec des bassins et écluses, soit pour leur curage et leurs réparations, soit pour la sûreté et la réparation des bâtiments stationnés, et de faire ainsi servir les bassins de formes *sèches* de radoub (engraving docks). Ces deux dispositions avaient été faites conjointement pour l'écluse du port militaire de Cherbourg (fig. 299, 430 et 440 des planches).

Les doubles jeux de fermetures en sens inverse sont aussi convenables pour les écluses de communication de deux bassins adjacents, afin qu'ils ne soient pas dans une dépendance mutuelle, et que l'on puisse conserver l'un d'eux en service pendant que l'autre serait à sec.

Feu M. Lamblardie père avait traité avec beaucoup de soin et de sagacité, dans un mémoire encore manuscrit, la question des ponts mobiles, particulièrement pour le passage des écluses de bassins de flot. **Ponts mobiles sur les écluses des bassins ou docks.**

Il avait fait remarquer, relativement aux ponts-levis, que pour une ouverture de 13m,50, l'extrémité des flèches levées eût été à 13 mètres au-dessus du sol; qu'elles eussent été exposées à rompre dans les tempêtes ou à renverser leurs pilastres, et que d'ailleurs le passage des navires sous vergues les aurait fréquemment endommagés. **Pl. 59 et 60. Fig. 294 à 296.**

Les ponts roulants occupent une grande place aux abords des bajoyers d'écluses et sont peu solides. **Pl. 65. Fig. 305.**

Les ponts tournants, quoique généralement adoptés (figures 298 à 307 des planches), ont l'inconvénient d'exiger une grande longueur de bajoyers pour retenir les volées lorsque le pont est ouvert; il faut de plus que dans cette position ils fassent retraite sur les bajoyers pour ne pas être accrochés par les pattes d'ancre et par les haubans; enfin leur longueur augmente dans une plus grande proportion que l'ouverture des écluses. Ces ponts bien construits durent, du reste, une trentaine d'années. **Pl. 61, 62 et 63. Fig. 298 à 302. Pl. 64. Fig. 306 et 307.**

Ces considérations avaient déterminé feu M. Lamblardie père à proposer les ponts à bascule, qui ont été représentés figures 297 des planches, et qui ont été exécutés au Havre, et à Hull, en Angleterre. **Pl. 60 et 61. Fig. 297.**

Dans quelques docks anglais où le fond était vaseux, le tracé du plan des quais de soutènement a été curviligne, en arc de cercle d'un grand rayon de courbure, afin d'opposer plus de résistance à la poussée des terres mouillées en arrière. Sans doute la poussée de l'eau contre-balance celle des terres; mais les bassins et docks sont quelquefois mis à sec, et il y a à tenir compte d'ailleurs des grands amas de *marchandises* qui chargent les terre-pleins des quais, et de *la traction* des navires amarrés. **Tracé en plan et profil des quais des bassins de flot et dock.**

Des échelles de sauvetage, des escaliers et des rampes glissoires pour les bois ou des

machines de débarquement et embarquement, seront d'une grande utilité dans les bassins de flot comme dans les ports d'échouage.

Les parois montantes ont été aussi, dans les bassins de flot comme dans les ports d'échouage, dressées quelquefois sous des formes curvilignes, dans le but également de mieux résister aux poussées.

Ces parois ont du reste moins besoin que celles des ports d'échouage de gardes en bois.

Le couronnement des quais doit être à un niveau tel, qu'il ne puisse jamais être dépassé par les plus hautes mers *même agitées*, et qu'aux moindres hautes mers de morte eau il n'y ait pas une hauteur gênante pour les communications entre le couronnement et le pont supérieur des navires.

La largeur des terre-pleins riverains devant, comme celle des terre-pleins des ports d'échouage, fournir une voie longitudinale de communication, ne saurait guère être moindre de 20 mètres quand les marchandises ne sont pas reçues dans des hangars de pesage. On dira plus bas les dispositions habituelles prises pour les docks entourés d'édifices.

Les position et forme des boucles ou barres d'amarrage, des canons d'amarrage, des réverbères sont d'ailleurs dans les bassins ce qu'elles sont dans les ports d'échouage.

Pl. 126 et 127. Fig. 631. Les figures 631 des planches représentent quelques quais de bassins de flot et de docks.

Lorsque, comme au bassin de flot du port militaire de Cherbourg, le fond est du rocher ou d'une nature telle que les ancres et grappins n'y mordraient pas, on y scelle un réseau d'organeaux avec des bouts de chaînes.

Dans des rochers très-durs, on pourra se borner à des sillons creusés *en damier* sur toute l'étendue du fond.

Pl. 127. Fig. 632. Les figures 632 des planches indiquent la disposition adoptée pour le bassin de flot de Cherbourg.

---

## RÉSUMÉ DE LA TRENTE-SEPTIÈME LEÇON.

SUITE DES BASSINS DE FLOT, DARSES ET DOCKS. — ENLÈVEMENT DES ALLUVIONS DES PORTS ET A CHENAUX.

Fermetures et tracé des écluses. Le système de fermeture et de construction des écluses des bassins de flot avec ou sans sassements doit être tel, indépendamment des conditions ordinaires de solidité et de durée, que :

1° Quels que soient les niveaux respectifs des eaux en dedans et en dehors, dans le

calme comme dans le gros temps, il ne puisse pas se faire une communication *subite et imprévue* entre les uns et les autres;

2° Que l'on puisse facilement et à volonté, sans priver longtemps le commerce de la jouissance des bassins ou docks, réparer l'écluse, les bassins eux-mêmes, entretenir et renouveler les fermetures amovibles.

Les fermetures d'ebbe ou de flot des grandes écluses de mer peuvent être effectuées soit avec des portes verticales et tournantes analogues à celles des écluses de navigation, soit avec des *bateaux-portes*.

Les bateaux-portes sont des caisses flottantes de diverses formes en section horizontale et verticale, à une ou deux quilles, et munies de flotteurs. En remplissant ou vidant ces flotteurs, on détermine l'immersion ou l'émersion de la caisse. Cette dernière, si elle ne doit soutenir les eaux que *dans un seul sens*, vient s'appliquer verticalement ou suivant un talus plus ou moins incliné, contre un heurtoir ménagé dans le radier et contre des retraites de 30 centimètres de profondeur, réservées dans les bajoyers. L'élargissement s'étend au moins alors depuis l'emplacement du bateau-porte jusqu'à la tête de l'écluse qui est la plus voisine. Le bateau-porte se présente, entre et sort par cette tête, et vient s'appliquer contre le heurtoir et les retraites. Bateaux-portes.

Si le bateau-porte doit soutenir l'eau dans *deux sens opposés*, on ménage dans le radier et dans les bajoyers des enclaves ou refouillements d'environ 30 centimètres de profondeur, et l'on a soin aussi de donner aux bajoyers et aux enclaves montantes un talus considérable. Le bateau-porte, qui aura alors en travers de l'écluse une section trapézoïdale dont la grande base sera en haut, descendra facilement par l'immersion et remontera facilement par l'émersion.

Des paillets faits en *frise* ou en vieux cordages, suivés et lardés de petits clous, garnissent le périmètre du bateau-porte.

Les bateaux-portes peuvent servir en même temps de ponts mobiles; mais dans ce cas, ils doivent être à deux quilles et avoir à peu près la forme d'un chaland ponté, analogue à celui qui a été déjà représenté figures 305 des planches.

Les formes et dispositions des bateaux-portes et de leurs flotteurs ont été l'objet d'études intéressantes pour MM. les officiers du génie maritime, sous le triple rapport de la stabilité, de la facilité de manœuvre et de l'économie de construction. Pl. 63. Fig. 305.

Le bateau-porte le plus simple, pour les circonstances où l'eau ne *doit être soutenue que dans un seul sens*, et où le bateau-porte ne doit pas servir de pont mobile, est celui de feu M. Pestel, directeur des constructions navales. Il a été employé la première fois en 1822, à l'entrée de la forme sèche du port militaire de Brest (rive de Brest), puis en 1833, à l'entrée de la nouvelle forme sèche du port militaire de Lorient.

Les figures 633 des planches en donnent les détails dans les deux cas d'un radier *plan et courbe*, ainsi que ceux d'un bateau-porte d'une forme particulière établi à Constantinople, par un ingénieur suédois. Pl. 127. Fig. 633.

Ces bateaux-portes sont dénommés *portes flottantes*.

Pour les bateaux-portes servant de ponts mobiles, on se borne à indiquer dans les figures 634 des planches : 1° celui qui avait été projeté en 1827 par M. Daviel, officier du génie maritime, pour l'écluse de communication entre l'avant-port et le bassin de flot du nouvel arsenal militaire de Cherbourg; 2° celui qui avait été projeté en 1829 par M. Hubert, directeur des constructions navales; 3° celui du port d'Helvoetsluys en Hollande.

Pl. 128. Fig. 634.

Les bateaux-portes présentent les avantages suivants sur les portes tournantes :

Leur solidité est éprouvée; ils épargnent une longueur considérable d'écluses, surtout lorsqu'ils servent de ponts mobiles; on peut les faire fonctionner à volonté comme fermetures d'ebbe et de flot. Leur quille pouvant être curviligne, le radier de l'écluse peut avoir aussi cette forme et contre-tenir efficacement les poussées sur le bateau-porte, et celles sur les bajoyers des écluses dans les terrains vaseux. Enfin les bateaux-portes n'exercent point de traction transversale ou diagonale sur les bajoyers, et leur poussée n'agit que dans le sens de la longueur de l'écluse, où il y a toujours une résistance suffisante.

Malgré tous ces avantages, l'application permanente des bateaux-portes a été restreinte aux fermetures des *formes sèches* (engraving docks). Le motif en est dans les difficultés de leur manœuvre, surtout lorsqu'il y a un peu de gros temps, ou quand il y a encore un courant à travers l'écluse du dedans au dehors, et *vice versâ*. D'après l'expérience, il faut plus de *deux heures* dans les circonstances les plus favorables.

Les bateaux-portes ont été employés souvent comme batardeaux, et notamment lors de la construction et de l'approfondissement de l'écluse de communication déjà citée de l'avant-port et du bassin de flot du nouvel arsenal militaire de Cherbourg. Il sera prudent de ménager aux deux têtes, ou entre les têtes des écluses de mer, des élargissements, des beurtoirs ou des enclaves, pour le placement temporaire des bateaux-portes en cas de réparation de l'écluse et de renouvellement des portes et ponts mobiles.

**Système mixte de bateaux-portes et portes d'écluse.**

Pour les bassins ou docks qui ne recevraient habituellement que des navires de faible tonnage, et de loin en loin seulement des bâtiments d'une grande largeur au *maître-bau*, tels que bateaux à vapeur et navires de guerre, il pourrait y avoir lieu à appliquer le système mixte de fermeture d'un bateau-porte muni de portes d'écluse, imaginé et exécuté en 1805 à Medemblik en Hollande, par l'ingénieur Goudriaan. Le bateau-porte reste en place pour le passage des bâtiments de grandeur ordinaire, lequel s'effectue par l'ouverture des portes. Tout le système ne s'enlève que pour les grands bâtiments.

Pl. 128. Fig. 635.

Il serait possible peut-être d'atteindre le même but, en décomposant en deux chacun des vantaux principaux des fermetures busquées, et en retenant fortement par des chaînes amovibles du côté de la poussée de l'eau, ou par des étrésillonnages amovibles du côté opposé, les poteaux-tourillons intermédiaires de chaque *sous-vantail*.

Pl. 128. Fig. 636.

On a employé en Angleterre un système analogue, représenté figures 636 des planches.

**Portes tournantes ordinaires.**

Les portes à deux vantaux busqués d'ebbe ou de flot, avec ventelles pour l'évacuation

des eaux, sont employées généralement pour les grands débouchés des écluses de mer comme pour les écluses des canaux de navigation.

Ici également, il y aura avantage à réduire la saillie du busc et à donner en plan aux vantaux une forme *ogive*, ou au moins une forme très-rapprochée de celle d'un arc de cercle passant par les chardonnets et par le sommet du busc. On a fait des portes avec vantaux en bois de $\frac{1}{20}$ de la corde pour flèche, et des vantaux en bois avec $\frac{3}{50}$ à $\frac{1}{60}$ de flèche (voir le Mémoire de Barlow dans l'appendice n° 3 du tome II du Programme).

Feu M. l'ingénieur Duleau avait fait remarquer qu'il était d'autant plus difficile de faire la courbure des vantaux continus, que la flèche du busc était plus forte; que les portes fermaient d'autant mieux, pesaient d'autant moins, étaient d'autant plus faciles à manœuvrer, que la saillie du busc était moindre. Mais, par compensation, la pression d'arc-boutement des vantaux est plus considérable, et les maçonneries des chardonnets ont besoin de contre-forts plus massifs.

La composition des vantaux des portes tournantes a été faite suivant les divers systèmes ci-dessous :

1° Encadrements en bois avec bracons et liaisons métalliques, et bordé en bois.

Ce système est celui de toutes les anciennes portes et des portes d'ebbe et de flot exécutées en 1832 par M. l'ingénieur en chef Leroux, pour l'écluse de communication déjà citée de l'avant-port et du bassin de flot de l'arsenal militaire de Cherbourg, et retracée figures 299, 430 et 440 des planches. Pl. 61 et 62. Fig. 299. Pl. 87. Fig. 430. Pl. 88. Fig. 440.

Ce système a aussi été suivi pour les portes d'écluses des bassins de flot des ports de commerce de Dunkerque, de Dieppe, du Havre et de Cherbourg, et pour celles des formes sèches *intérieures* du port militaire de Brest, représentées figures 637 des planches. Pl. 128 et 129. Fig. 637. On le retrouve en Angleterre, aux docks dits des Indes orientales, de Sainte-Catherine et de Londres dans la Tamise, et à ceux des ports de Hull et Liverpool. Les figures 638 des planches en retracent quelques exemples. Ce genre de construction peut Pl. 129. Fig. 638. durer de dix-huit à vingt ans moyennement.

2° Celui d'encadrements en fonte ou en fer forgé avec liaisons en fer forgé et bordé en bois, dont il va être fait usage au port de commerce de Cherbourg, d'après un projet rédigé par M. l'ingénieur Virla et représenté dans les figures 639. Pl. 129. Fig. 639.

Malgré les excellentes dispositions prises par cet habile ingénieur, malgré la bonne qualité des fontes livrées et éprouvées avant l'emploi sous une charge uniformément répartie de 30000 kilogrammes sur chaque entretoise posée sur deux appuis, il est à craindre que ce genre de portes n'éprouve des avaries, soit dans les gros temps et vers la marée étale, quand le courant de flot ouvrira subitement les portes avec force, soit lorsqu'il faudra fermer les portes de jusant après l'étale, ou encore dans le cas de quelques bâtiments partis en *dérive* du bassin de flot ou de l'avant-port. Il arrive souvent aussi que des navires franchissant les écluses se présentent mal et heurtent les vantaux rabattus dans leurs enclaves; l'élasticité du bois, bien plus grande que celle de la fonte, rend ces

accidents moins graves ; d'ailleurs leur réparation est bien plus facile dans les vantaux en bois que dans ceux en métal.

3° Celui de cadres métalliques avec bordé métallique dont on ne peut citer encore aucun exemple dans les écluses de mer de France et d'Angleterre.

L'énorme poids des vantaux (il s'élève jusqu'à 40 tonneaux pour un jeu de portes de docks du commerce de 13 à 14 mètres de débouché) appelle tous les moyens praticables d'élégissement. Aussi, malgré la moindre durée de l'orme et du sapin du Nord, on le prescrit en Angleterre pour toute la charpente des portes, ou au moins pour le bordé, qu'on y place du reste verticalement.

Pl. 61 et 62. Fig. 299. Pl. 87. Fig. 430. Pl. 88. Fig. 440. On avait eu recours pour les portes de l'écluse, déjà plusieurs fois citée, du nouvel arsenal de Cherbourg, à un moyen qui semblait devoir être très-efficace, celui de border en dedans et en dehors, et de transformer ainsi les vides des entretoises en caisses imperméables ou flotteurs. Mais les résultats n'y ont pas répondu. L'affaissement de la charpente des vantaux, les flexions variables qu'elle éprouve sous les différentes charges, les alternatives de sécheresse et d'humidité ont rendu ces caisses perméables à l'eau, et les portes, au lieu d'être plus légères, ont été rendues ainsi plus pesantes. D'ailleurs on avait oublié de doubler le bordé en cuivre, et les vers marins l'avaient troué dès les premières années.

Dans les portes métalliques, on pourrait mieux réussir en formant les entretoises et les poteaux en tuyaux creux, à section circulaire ou elliptique, comme ceux du pont du Carrousel.

C'est ordinairement dans le tiers inférieur des vantaux que le gauchissement a lieu ; aussi dans cette zone on fait les entretoises presque jointives. Les fortes dimensions de ces pièces permettent rarement de les faire d'un seul morceau ; on les compose de pièces naturelles ou artificielles courbées vers l'extérieur, en les liant à l'intérieur par des pièces droites formant *tirants* ou *entraits*. L'intervalle est rempli par des blocs de bois de *support*, rendus solidaires avec les pièces riveraines par les cylindres incrustés en échiquier, indiqués figures 16 des planches. Pl. 4. Fig. 16.

On pourra d'ailleurs consolider les vantaux, soit du côté de la poussée, par des tirants en fer ou chaînes amovibles, scellées à leur autre extrémité dans les bajoyers ; soit du côté opposé à la poussée, par des valets analogues à ceux qui sont représentés figures 430 des planches. Pl. 87. Fig. 430. Ces valets ont été aussi établis aux nouvelles portes du bassin de flot de la marine à Dunkerque, non pour les consolider, mais pour les faire fonctionner comme portes de flot.

On a déjà dit, page 214, tome II, le moyen qu'on avait employé à Flessingue pour l'élargissement d'une écluse dans sa partie supérieure, et les figures 441 des planches représentent les deux étages de vantaux. Pl. 88. Fig. 441.

Au port du Havre, M. l'ingénieur Frissart, à l'occasion d'un élargissement analogue de l'ancienne écluse du bassin du Roi, a préféré construire les vantaux découpés et d'un seul morceau, en plaçant le poteau-tourillon dans le bajoyer élargi, et en faisant reposer

les entretoises inférieures sur la retraite de l'*ancien bajoyer*; le succès a justifié cette disposition.

Lorsque l'on veut avoir à la fois des portes d'ebbe et de flot dans la même écluse, il est évidemment économique de leur donner exactement les mêmes dimensions, afin qu'on puisse, en cas de besoin, faire changer leur destination (voir figures 451 des planches). Pl. 90. Fig. 451.

Au port de Hull en Angleterre, et aux docks dits du Commerce à Londres, on a évité l'emploi de portes de flot et de batardeaux en cas de mise à sec des docks d'écluses, en ménageant dans l'écluse un busc heurtoir, des enclaves, des colliers entièrement semblables à ceux des portes d'ebbe : Pl. 130. Fig. 640.

1° A la tête, vers le large, et en sens contraire du busc et des enclaves des fermetures d'ebbe ;

2° A la tête, vers le dock, dans le même sens que ceux des fermetures d'ebbe.

Les fermetures ordinaires d'ebbe, soulevées par une espèce de ponton, sont enlevées de leur emplacement et reportées, suivant le cas, vers l'intérieur ou vers le large.

Au reste, indépendamment de ces dispositions, il est très-utile, ici comme dans les écluses de navigation, de réserver aux deux têtes de l'écluse et même sur différents points de la longueur des sas, des rainures de 25 à 30 centimètres de profondeur et de 25 à 40 centimètres de largeur, pour recevoir les pontrelles de batardeaux submersibles, lesquels seront surtout nécessaires en cas de réparations *partielles* et dans des zones *déterminées* de l'écluse.

On se borne à présenter, dans les figures 641 des planches, les écluses et docks des Indes orientales à Londres, l'écluse du bassin du port militaire de Cherbourg, et celle du bassin du commerce au Havre. Pl. 130 et 131. Fig. 641.

On fait remarquer que dans les grandes écluses de mer exécutées en Angleterre et récemment au Havre, on a disposé le radier du sas entre les paliers des portes tournantes en voûte renversée. Cette forme convient surtout aux écluses fondées en mauvais terrain. Toutefois, on pourrait par de fortes plates-bandes renversées, et à l'instar des anciennes écluses du Havre, atteindre peut-être le même but, sans exposer les navires déviés de leur route à s'échouer, comme dans les radiers à voûte renversée.

Les crapaudines, colliers de tenue des portes, sont installés dans les écluses de mer comme dans les écluses de navigation, mais avec une augmentation de force proportionnelle.

Les figures 642 des planches donnent les détails des portes d'écluses du bassin de flot du port militaire de Cherbourg. Pl. 131. Fig. 642.

Il faut éviter soigneusement du reste de mettre en contact du cuivre et du fer, particulièrement dans les parties immergées.

En Angleterre, pour soulager les maçonneries des bajoyers du poids des portes, on a rendu les colliers indépendants en les attachant à de longs tirants en fer, qui s'amarrent à un fort *ancrage*, fixé lui-même dans les terre-pleins à une grande distance des bajoyers.

Manœuvre des portes.

La manœuvre des portes, pour l'ouverture et la fermeture, s'opère par des cabestans, treuils ou engrenages fixés sur les terre-pleins des bajoyers, combinés souvent avec l'emploi de palans ou caliornes (moufles à un ou plusieurs rouets). Mais comme le temps manque plutôt que la force dans les ports de mer, il pourrait être utile d'employer des appareils d'une marche plus prompte ou de s'aider de contre-poids qu'on remettrait ensuite, à loisir, à leur position initiale. Les chaînes de traction de chaque vantail, qui sont doubles, l'une en dedans pour l'ouverture, l'autre en dehors pour la fermeture, sont ordinairement attachées aux poteaux busqués vers le tiers inférieur de la hauteur des vantaux, ou bien entre ce tiers et la mi-hauteur; ces chaînes vont passer ensuite sous des rouleaux horizontaux scellés dans les bajoyers. Là, elles se replient, s'élèvent sur la plate-forme de l'écluse, et, appuyées sur de nouveaux rouleaux, vont s'enrouler sur les treuils ou cabestans. Les figures 423, 640 et 641 des planches représentent les dispositions suivies dans la plupart des écluses des bassins français et des docks anglais.

Pl. 86. Fig. 423. Pl. 130. Fig. 640 et 641.

Pl. 88 Fig. 440.

Dans ces écluses, on a quelquefois placé, au pied des poteaux busqués, des roulettes du plus grand diamètre possible, marchant sur des chemins métalliques scellés dans le radier. Elles avaient pour objet d'empêcher ces poteaux de baisser *du nez* et de frotter sur le radier; mais pour peu qu'il y ait d'alluvions ou de corps étrangers, ces expédients peuvent être plus nuisibles qu'utiles. A Liverpool, ces roulettes, par un mécanisme spécial, peuvent être remontées ou abaissées.

Communications entre les eaux du dedans et du dehors des bassins.

L'on a vu précédemment qu'il était presque toujours nécessaire de pouvoir ouvrir une communication pour les eaux du dedans au dehors des bassins et docks. Cette communication n'a pas seulement pour objet de faire varier le niveau d'eau intérieur, mais aussi de déterminer à basses mers des chasses d'eau dans les écluses, et même dans les ports d'échouage. Le dépôt annuel de vase peut varier en effet, suivant les localités, de $2^m,5$ à 1 mètre par an. Au port de Hull en Angleterre, la quantité annuelle de vase à enlever, sur 92736 mètres superficiels, est de 30000 tonneaux; et elle était précédemment de la même quantité pour un seul dock de 28224 mètres carrés de superficie d'eau.

Pl. 130 et 131. Fig. 641.

Ici, comme dans les écluses de navigation, on se sert isolément ou concurremment de ventelles dans les portes et d'aqueducs spéciaux. On les emploie simultanément dans le bassin de la Barre au Havre, et dans les docks de Liverpool, de Bristol, de Hull, en Angleterre. Ainsi quand on veut nettoyer un dock, on ouvre ses écluses vers le large pour que l'eau qu'il contient s'écoule à basse mer; ensuite on ouvre les ventelles des écluses intérieures *qui débouchent dans ce dock*, et celles de tous les canaux souterrains qui sont en communication avec les autres docks restés pleins; ces divers courants d'eau dirigés à volonté par des *guideaux* sur les points les plus envasés, sont aidés dans leur action par des râteaux que meuvent des hommes ou d'autres moteurs. La vase, dont l'adhérence est ainsi détruite, est enlevée par les courants d'eau et rejetée en dehors; dès qu'un dock est curé, il sert au curage d'un autre. On recommence à Liverpool chaque année cette même opération pour chaque dock, pendant 12 à 14 jours.

Les aqueducs anglais sont en fonte de fer, et leur section transversale s'ouvre en enton-

noir dans le sens de la longueur, de manière à n'avoir qu'environ 0$^m$,46 ½ à 0$^m$,75 au débouché des chasses, et 1$^m$,20 de diamètre à la prise d'eau.

On voit aussi qu'ici, comme dans les écluses de navigation, il est utile que les ventelles aient le plus grand débouché possible, et que ce débouché soit ouvert en entier dans le minimum de temps. On donne souvent aux ventelles, pour largeur, tout l'intervalle entre le poteau tourillon et le poteau busqué. En Angleterre, les ventelles sont quelquefois multipliées sur la hauteur et élevées au moyen de contre-poids. A Hull, chaque vantail comporte deux rangées verticales de ventelles; elles se servent mutuellement de contre-poids, parce que les unes ouvrent en montant, les autres en descendant.

Les quais, le fond même des bassins de docks et surtout l'écluse doivent être, sinon complétement imperméables à l'eau poussant du dedans au dehors, au moins d'une perméabilité restreinte de telle manière, qu'entre deux marées hautes en équilibre avec les niveaux des eaux dans l'intérieur des bassins, consécutives ou séparées par un certain intervalle de temps, les eaux ne puissent baisser assez pour déterminer l'échouage des navires. Cette condition pour les docks à seuils très-élevés et avec écluses à sas peut exiger que le fond du bassin d'eau, dans des terrains sablonneux, soit tapissé d'une couche épaisse de terre glaise et même de béton. Mode de construction des quais et des écluses.

Dans tous les cas, il convient de descendre l'assiette de fondation des soutènements beaucoup plus bas que le fond du bassin; faute de cette précaution, on a vu au vieux dock de Hull en Angleterre, mis à sec temporairement, de longues portions de soutènements en maçonnerie surplomber et même s'écrouler. Dans les docks nouveaux de la même ville, les pertes par filtrations sont restreintes par heure, dans les vives eaux, à 0$^m$,02 de hauteur, et dans les mortes eaux à 0$^m$,15, sur une surface de 92736 mètres carrés.

Les premiers soutènements des quais de bassins et docks avaient été exécutés en bois; mais leur perméabilité a forcé d'y renoncer, et aujourd'hui toutes ces parois sont exécutées en maçonnerie de mortier, ou en terre glaise parementée de feuilles métalliques dans le système déjà décrit. Toutefois l'eau étant presque toujours stagnante dans les bassins de flot, on n'a point à y craindre d'affouillements pour les fondations. Aussi la plupart des quais du Havre sont fondés sur le terrain naturel résistant, ou sur un simple grillage soit de traversines et de longrines, soit de deux plans de bordage croisés.

Au bassin de flot du port de commerce de Cherbourg, ces murs ont été fondés sur le sable.

La construction des écluses de mer, analogue du reste à celle des écluses de navigation intérieure, exige encore une plus grande attention; d'abord pour renforcer convenablement les contre-forts des bajoyers au droit des chardonnets des portes; puis pour empêcher les communications de l'eau du dedans au dehors, et celles du dehors au dedans suivant que les fermetures de l'écluse doivent fonctionner d'ebbe ou de flot; enfin pour prévenir les affouillements par les courants de jusant, qui sont très-rapides dans

le passage des écluses, surtout lorsque les ventelles doivent servir pour les chasses.

On pourrait néanmoins se borner à revêtir en pierres de taille les encoignures, arêtes et couronnements, comme dans les écluses de navigation.

Dans les écluses à sas, où le seuil des bassins ou docks peut être très-élevé relativement au radier de l'écluse, et où ce dernier est souvent au niveau des plus basses mers, la charge d'eau contre le mur de chute et sur le radier peut s'élever à 10 et à 12 mètres, à basse mer, dans les localités où les dénivellations de la marée sont très-fortes. Une épaisseur de radier de $3^{m},50$ au-dessus du plan des fondations a été donnée dans des écluses récemment exécutées, et pour des charges d'eau de 6 mètres à basse mer.

Au reste, la marche la plus sûre pour calculer les dimensions des diverses parties d'une écluse sera de prendre pour point de départ celles analogues d'une écluse de navigation, et de les augmenter dans le rapport des charges d'eau correspondantes, rapport qui est ordinairement de 1 à 3 dans les ports à marées.

Les règles générales données pour les fondations et celles spéciales aux ouvrages hydrauliques s'appliquent ici.

Au dock de jonction du port de Hull, dont le terrain était alluvionnaire, le pourtour des murs présentait environ (défalcation faite des entrées d'écluses) 632 mètres de développement. Il a employé 2,411 pieux de fondation cubant $500^{m.c.}$, et 632 mètres courants de palplanches, cubant $346^{m.c.}$. Chaque écluse a été supportée par 939 pieux cubant $269^{m.c.}$; par 570 mètres courants de palplanches, cubant $119^{m.c.}$. Le poids maximum supporté a été de 20,000 kilogrammes par pieu d'environ $0^{m},35$ de diamètre moyen, battu au refus de $0^{m},05$ par coup d'un mouton au déclic de 650 kilogrammes, tombant de $7^{m},20$ de hauteur.

Pl. 90. Fig. 451. Les figures 451 représentent l'un des systèmes les plus compliqués de fondation d'écluses.

**Ordre d'exécution des bassins de flot et des docks.** L'exécution des bassins à flot et docks doit commencer évidemment, quand cela est possible, par celle des écluses, puisque ces dernières, munies de leurs fermetures, servent alors de batardeaux pour le reste du travail, ou permettent au moins d'en réduire l'importance et la durée. Les écluses elles-mêmes peuvent être fondées soit à l'aide de batardeaux insubmersibles à toute marée, ou de batardeaux submersibles tantôt à mi-marée, tantôt au-dessus et au-dessous de cette cote.

Quand le creusement des bassins doit précéder l'établissement des écluses et être opéré *malgré la présence* de l'eau, on y applique les machines à draguer, lorsque le fond est facilement attaquable, et les cloches à plongeur, si le fond est du rocher. Les ouvriers sous la cloche creusent et chargent les trous des mines, et cette charge s'effectue avec des boîtes en fer-blanc remplies de poudre, et surmontées de tubes ascensionnels qui débouchent au-dessus du niveau des basses mers et transmettent la combustion. Après l'explosion produite sous l'eau, la cloche à plongeur sert à détacher les fragments. Ces moyens ont été employés en 1774 par le célèbre Thunberg aux travaux du port de

Pl. 155. Fig. 714. Carlscrona en Suède.

On pourrait aussi recourir au procédé suivi en 1811 pour l'approfondissement du port de Peterhead en Écosse, emprunté aux mêmes travaux de Carlscrona, lequel consistait dans des caisses en bois formant des espèces de batardeaux amovibles, dans l'intérieur desquels on pouvait épuiser l'eau et creuser ensuite à l'aise.

La seule difficulté que présentent les darses et docks dans les ports sans marées consiste dans la construction des soutènements. La grande dépense des travaux faits par des batardeaux insubmersibles, celle de bien régaler le terrain pour des maçonneries faites à l'aide de caissons, déterminent dans la plupart des cas à recourir aux fondations sur enrochements, ou plutôt à celles en béton à l'aide de caissons non foncés qui n'entravent pas l'accostage des navires. Mode de construction des darses et docks dans les ports non sujets aux marées.

On a déjà dit qu'il y avait de grandes différences dans la disposition des édifices des docks. Ainsi, jusqu'ici en France, les marchandises mises à terre sont abritées par des tentes, en attendant qu'elles soient pesées et contrôlées par la douane, à moins qu'elles ne soient immédiatement conduites, sous la surveillance des agents de cette administration, à des entrepôts, dont elle a aussi la surveillance et les clefs, ou dans les magasins isolés de chaque négociant. Édifices des docks. Pl. 131. Fig. 643.

En Angleterre, il est des docks qu'on a déjà cités, où il y a des hangars fixes pour le premier dépôt des marchandises importées, et pour le dernier dépôt des marchandises exportées. En arrière, à une certaine distance, sont les magasins définitifs de dépôt et de conservation, qui tiennent ainsi lieu de magasins isolés appartenant aux divers négociants. Pl. 132. Fig. 644.

Enfin, aux docks de Sainte-Catherine, les magasins sont sur les bords des quais, et leur rez-de-chaussée fait fonctions de hangar de pesage et de contrôle, tandis que les étages supérieurs servent au dépôt. C'est cette même disposition qui avait été assignée par M. Flachat pour les édifices des docks projetés à Marseille. Pl. 132. Fig. 645. Pl. 132. Fig. 646.

M. l'ingénieur Frissart a proposé un système mixte dans un mémoire déjà cité ; il consiste à placer les hangars sur les bords des quais, mais en les accolant aux magasins, de manière qu'il n'y ait plus de rue de séparation intermédiaire. Pl. 133. Fig. 647.

On croit utile de joindre à ce qui précède quelques courtes notices sur quelques bassins et docks anglais.

*Port de Bristol sur l'Avon.*

Deux rivières, l'Avon et la Froom, se réunissent à Bristol et tombent dans la mer à 15 kilomètres plus bas. On a transformé leur lit commun, dans la traversée de la ville, en un long bassin de plus de 4500 mètres de développement ; et pour écouler les eaux de l'Avon, on a ouvert un nouveau lit de 3600 mètres de long, dans des prairies situées au midi de la ville. Des écluses à barrage, établies à la tête en amont du long bassin, y retiennent l'eau à basse mer. En aval, ce long bassin, dont les terre-pleins de rive ont depuis 15 à 20 mètres de largeur et ne sont bordés de quais que vers le milieu de la ville, communique par une écluse avec un dock plus profond que lui, dit de Cumber- Notices sur quelques docks exécutés en Angleterre. Pl. 107 à 112. Fig. 370.

land, lequel à son tour communique avec l'ancien lit de la rivière par deux écluses adjacentes, l'une pour l'entrée, l'autre pour la sortie. Un canal ou rigole alimentaire va chercher dans l'Avon, en amont de Bristol, l'eau nécessaire au bassin ou plutôt *port de flot* pour réparer les pertes faites par sassement, et conserver les eaux plus hautes que le niveau des hautes mers de morte eau. Les travaux, commencés en 1824, ont duré cinq ans. Le long bassin présente d'ailleurs sur ses rives des docks, des formes, des chantiers de construction, qui sont des propriétés privées.

*Port de Liverpool sur la Mersey.*

Pl. 107 à 112. Fig. 570. Tous les bassins d'échouage, docks, formes sèches de radoub de Liverpool sont situés sur la même rive de la rivière de la Mersey.

Liverpool possède huit bassins et ports d'échouage, douze bassins de flot ou docks, quatre bassins dits de mi-marée, neuf formes sèches de radoub, affectés aux catégories différentes de navires.

Les édifices des docks sont d'une hauteur prodigieuse et comptent jusqu'à douze et treize étages. Dans quelques-uns, des files verticales de portes aux divers étages alternent avec deux files de fenêtres adjacentes; dans d'autres, il y a une file de portes pour chaque file de fenêtres : dans le plus grand nombre de ces édifices, il n'y a qu'une seule file verticale de larges portes au milieu de la longueur. Toutes les files sont soutenues par de petits frontons qui fournissent des points d'appui aux *moufles* de levage.

Les déblais des docks les plus récemment exécutés étaient enlevés par des chariots portant 700 à 800 kilogrammes, roulant sur des chemins de fer dont les éléments de 1 mètre de longueur, pesant 27 kilogrammes, étaient facilement amovibles. La terre était taillée à pic jusqu'au niveau du fond du bassin, et toutes les routes horizontales convergeaient vers quelques rampes de 10 mètres de hauteur verticale. Les chariots étaient traînés par des chevaux qui les amenaient sur une plate-forme de rotation située au pied de la rampe. Le conducteur arrêtait en dételant son cheval, faisait tourner le chariot et l'accrochait à la chaîne qui devait le traîner au haut de la rampe. Le cheval s'attelait ensuite au chariot vide qui venait de descendre, et le ramenait au pied de l'excavation. Les chariots pleins montaient sur la rampe pendant que ceux qui étaient vides descendaient, à l'aide d'une machine à feu stationnaire, placée au haut de cette rampe.

Le chariot chargé, parvenu en haut, était conduit par un cheval sur un chemin de fer, jusqu'aux points où il devait effectuer son versement, d'où le même cheval le ramenait au point de départ. La machine à vapeur motrice était employée, pendant les heures de Pl 133. Fig. 648. repos des ouvriers, à broyer des ciments et à corroyer des mortiers. Les figures 648 des planches représentent la disposition générale de cet ensemble d'opérations.

Aux nouveaux docks de Liverpool, il existe aussi une grue dans laquelle l'élévation des fardeaux jusqu'à 11 mètres de hauteur est produite par une machine à vapeur de la force de 20 chevaux, et le mouvement de rotation par des hommes.

*Port de Hull situé dans l'angle saillant que forment les rivières de Hull et de l'Humber.*

Ce port possède trois docks : l'un, dit le *vieux dock*, communiquo par une écluse et un avant-bassin avec la rivière do Hull, qui était jadis le seul havre de stationnement de la localité; le deuxième dock débouche dans la rivière de l'Humber, égalemont par uno écluse et un avant-bassin ; enfin le troisième, dit dock do *jonction*, est placé entre les deux précédents et communique avec chacun d'enx par une éclnse. On voit que par cette disposition on peut, en traversant les docks, passer de la rado de la rivière de Hull dans celle de l'Humber, en évitant lour point de confluence. Les travanx des trois docks sont décrits dans une notice intéressante insérée, par l'ingénieur Timperley, dans l'ouvrage anglais intitulé *Transactions de la Société des ingénieurs civils*, dont on a tiré les détails qui suivent : Pl. 107 à 112 Fig 570.

Le vieux dock a été reconstruit après six ans d'existence, par snite des mouvements qu'avaient éprouvés les fondations des quais de l'avant-bassin d'échonage, celles de l'écluse et des quais du dock lui-même. Ces fondations sur un terrain d'alluvions n'avaient cousisté qn'on pilotis d'une force insuffisante, avec grillages ordinaires, et on no s'était pas tenu en gardo contre l'action transversale de la poussée ; aussi le radier de l'écluse avait gonflé de $0^m,08$; les bajoyers au droit des portes avaient surplombé; les murs des docks étaient sortis de leurs alignemeuts primitifs. Vieux dock de Hull. Pl. 107 à 112. Fig. 570.

Dans les nouveaux onvrages de fondations des docks ot des écluses de Hull, on renforça les pilotis, et on battit vers le large une rangée de palplanches jointives. Néanmoins il y eut encore de légers mouvements, particulièrement dans l'emplacement d'nn pont à bascule de passage, où l'on remarqua des déliaisons entre les maçonneries de devant et les contre-forts du côté des travées.

Pour consolider, contre la pousséo des vases chargées par les remblais, les murs de sontènement de l'avant-bassin d'échouage et ceux du vieux dock, murs qui n'étaient séparés que par un intervalle de près do 25 mètres au couronnement, M. Rennie réunit leurs fondations par des arceaux isolés en voûte renversée de $1^m,60$ de flèche, ayant $1^m,80$ de longueur suivant l'axo ot $0^m,55$ d'épaisseur à la clef, séparés par des vides d'environ $2^m,30$. Ces arceanx se raccordent par des arroudissements en demi-cercle avec les parois montantes des sontènements.

Les travaux de l'écluse du dock et dn dock lui-même ont été faits à l'abri d'un vaste batardeau demi-circulaire de 34 mètres do corde, formé de deux rangées conceutriques ayant moyennement 1,000 pieux jointifs en sapin de $0^m,325$ à $0^m,35$ d'équarrissage. Les deux rangées étaient à $2^m,25$ l'une de l'autre et bien liées baut et bas par des tirants en fer. Le vide, après dragage préalable, avait été rempli en briqnes noyéos jusqu'au niveau des bautes eaux. Malgré sa bonno construction, co batardeau menaça de rompre dans des marées extraordinaires qui le soumettaient à uno charge d'eau de 10 mètres, et on fut obligé de l'accorer à l'intérieur. Nouveau dock de l'Humber avec avant-bassin à Hull en Angleterre. Pl. 107 à 112. Fig. 570.

Les murs de l'écluse et du dock de l'Humber furent fondés comme ceux du vieux dock

reconstruit; mais de plus on eut soin de donner à la plate-forme du grillage de fondation une pente descendante de 15° vers l'intérieur des terres. Toutes ces précautions ne purent empêcher que, même avant que les murs du dock fussent à hauteur, ils ne sortissent de $0^m,60$ sur l'alignement primitif de $274^m,20$ de longueur. On se hâta de jeter une grande quantité de terres à leur pied, sur 3 mètres de hauteur au milieu de la longueur de l'alignement, et sur 2 mètres à l'origine de ces alignements. Après la mise en service du dock, l'eau de l'intérieur ayant été abaissée momentanément jusqu'à $3^m,90$ du fond, le mur de l'est du dock recommença à éprouver des mouvements; mais le rétablissement du niveau primitif de l'eau les arrêta. Toutefois cette circonstance détermina à ne plus faire descendre notablement le niveau intérieur de l'eau.

Les bajoyers de l'écluse au droit des vantaux ayant fléchi et surplombé de $0^m,08$ de chaque côté, et les vantaux ne pouvant plus se fermer, on fut obligé de les enlever, de refaire les encoignures des encadrements des portes, et de retenir ces dernières par des tirants en fer prolongés très-avant dans l'intérieur des terres.

Aux deux tiers de la longueur de l'écluse, on a réservé des rainures en retraite pour recevoir un bateau-porte qui avait servi de batardeau après l'achèvement de l'écluse, et qui devait servir ultérieurement en cas de réparation des portes. Une machine à feu de six chevaux avait suffi à la fois à enlever les eaux de filtrations sur la surface totale de l'enceinte des travaux de 30000 mètres carrés, et à faire mouvoir les sonnettes à déclic du battage des pieux de fondation. Cette machine agissait sur deux pompes de $0^m,28$ de diamètre intérieur.

La durée des travaux, commencés en 1802, a été de sept ans.

L'exécution de ce dock devait être faite sans contrarier le service des deux docks qu'il réunissait. On construisit donc dans chacun, vis-à-vis les écluses du nouveau dock, deux batardeaux dans le même système que celui du dock de l'Humber : l'un de 66 mètres de corde sur 18 mètres de flèche; l'autre de $34^m,50$ de corde sur $4^m,20$ de flèche. Les rangées de pieux furent espacées de $1^m,80$, et le corroi intérieur, après dragage préalable, fut effectué en terre glaise pilonnée. Malgré ces dispositions, la grande charge d'eau ayant fait déverser quelques pieux vers le haut, on se décida à former, au dehors de l'un des batardeaux, un second batardeau avec noyau en terre et parois en maçonnerie de briques. Le vide entre les deux murs avait 9 mètres de largeur dans le bas et $2^m,40$ dans le haut; les maçonneries avaient elles-mêmes $1^m,80$ d'épaisseur dans le bas et $0^m,75$ dans le haut.

Pour éviter les effets observés dans les deux docks précédents, on éleva les murs des docks sur un tracé *curviligne en plan* et concave vers l'axe du dock, de $2^m,10$ de flèche sur 193 mètres de longueur; puis on remplit en maçonnerie de mortier hydraulique de $0^m,50$ de haut toute l'étendue de la plate-forme de fondation. Un corroi analogue recouvert de terre forte fut placé à l'extérieur des palplanches du devant.

Dans le battage des pieux, on avait cru remarquer que l'*état de la tête des pieux*, la position des pièces relatives à la ligne de chute du mouton avaient la plus grande influence sur l'enfoncement des pieux.

Vers la fin des travaux, des filtrations se manifestèrent au batardeau établi pour les fondations de l'écluse de jonction du côté du vieux dock. A cette époque, heureusement, l'écluse était construite et munie de ses portes; bientôt l'eau remplit toute l'enceinte occupée entre le batardeau et les portes de l'écluse. Par crainte d'accidents dans les maçonneries encore fraîches de l'écluse, on se décida à ouvrir les ventelles des portes, à faire entrer l'eau dans le nouveau dock de jonction, et en même temps à faire baisser l'eau dans le vieux dock par les ventelles du côté de la rivière de Hull. Malgré ces mesures, la brèche du batardeau continua à grandir, et le courant des eaux par cette brèche, minant les fondations des murs du vieux dock, les fit écrouler sur 18 mètres de longueur.

Deux machines à feu de six chevaux servaient, pendant les travaux, à enlever les eaux de filtration, à triturer les ciments, et à corroyer les mortiers.

Les travaux, commencés en octobre 1829, furent terminés en deux ans et demi.

### *Docks de la Tamise à Londres.*

Il existe en ce moment à Londres cinq groupes principaux de docks, dont quatre, sur la rive gauche au nord, sont placés de l'amont à l'aval :

Le groupe des docks de Sainte-Catherine, au nombre de trois, commencés en 1826, et terminés en 1829; Pl 107 à 112. Fig. 370.

Le groupe des docks dits *de Londres*, au nombre de trois, commencés en 1800 et achevés en 1805;

Celui des docks des Indes occidentales, au nombre de quatre, commencés en 1800 et achevés en 1802;

Celui des docks des Indes orientales, au nombre de deux, commencés en 1803, achevés en....

Le seul groupe de docks placé sur la rive droite est celui dit *Commercial docks*, composé de six docks, et le plus récent des établissements de ce genre à Londres.

### *Docks de Sainte-Catherine.*

L'écluse d'entrée de ces docks vers la Tamise présente deux sas consécutifs dans le sens de la longueur : le premier, vers la Tamise, peut admettre des navires de 600 tonneaux, trois heures avant la basse mer et trois heures après. Par des sassements, les navires parviennent à l'écluse supérieure, et de là au premier dock dit d'*entrée*. On a encore abaissé le seuil de $1^m,30$ depuis le premier établissement, de manière qu'il y a un mur de chute de cette hauteur vers l'intérieur du dock. Une machine à feu de cent chevaux fournit l'eau des sassements dans les mortes eaux. Pl. 133. Fig. 649.

Les édifices des docks viennent jusqu'au bord des quais. Des colonnes creuses en fonte, de $1^m,30$ de diamètre à la base, espacées de $1^m,80$ d'axe en axe dans le sens trans-

versal, et de $5^m,20$ dans le sens longitudinal, y remplacent les poteaux et piliers ordinaires. Les marchandises peuvent être directement élevées, par des grues, du pont des navires aux divers étages, et *vice versâ*. Les portes sont en bois et curvilignes intérieurement et extérieurement. La dépense de construction a été de plus de 53,800,000 francs pour les docks, édifices et machines.

*Docks dits de Londres.*

Docks de Londres destinés au dépôt exclusif de tous les spiritueux.

Les docks de Londres communiquent avec la Tamise par trois débouchés ou écluses distinctes. Leur étendue, y compris les édifices et rues, est de plus de 28 hectares. Sur quelques quais de ces docks, des hangars sont placés en avant des magasins; dans d'autres, les magasins s'avancent jusque sur les bords des quais. Des caves voûtées en

Pl. 133. Fig. 650.

*arc de cloître*, de $2^m,80$ de hauteur sous clef, se trouvent sous les magasins, dans une étendue de 72000 mètres carrés, et peuvent recevoir jusqu'à 66000 pipes de spiritueux ou 159720 hectolitres.

Des chemins de fer sont établis en avant des magasins et le long des hangars, sur les quais, partout où il y a une rue entre eux. D'autres chemins de fer, croisant les premiers à angle droit, conduisent du bord des quais à l'intérieur des magasins. Des raccordements obliques facilitent la communication des premiers chemins avec les seconds. Les rebords des ornières de fer restent un peu en dessous du pavé.

Les portes d'écluse sont curvilignes, et leurs entretoises sont formées de plusieurs pièces élémentaires juxtaposées, comme des claveaux de voûtes en maçonnerie. Le fonds primitif de dépense pour les docks, édifices et magasins a été de 37,500,000 francs.

La compagnie qui a créé cet ensemble de docks a établi un droit d'entrée de 1 fr. 25 c. par tonneau; un droit de stationnement de 5 c., indépendamment des droits pour dépôts dans les magasins.

*Docks des Indes occidentales.*

Pl. 134. Fig. 651.

Ces docks sont très-avantageusement situés dans une presqu'île, nommée l'île des Chiens, que forme un coude de la Tamise : ils en occupent l'isthme et ont leur débouché sur chacune des branches du coude.

Un grand réservoir d'eau très-élevé et deux autres réservoirs plus bas pourvoient aux sassements, et le plus élevé peut aussi fournir l'eau en grande abondance en cas d'incendie.

La superficie totale des docks, y compris édifices et magasins, est de 56 hectares. Des bâtiments de 1,200 tonneaux peuvent être admis dans les docks.

L'un des docks sert aux importations et l'autre aux exportations.

Les hangars, exécutés en fer par M. Rennie, sont presque à l'aplomb des murs de quai.

Pl. 134. Fig. 652.

Les magasins sont en arrière des hangars, mais à une petite distance. Ces magasins

présentent également des caves voûtées. L'un d'eux compte onze étages. Les façades du côté des docks présentent des portes-fenêtres pour l'ascension et la descente de marchandises à l'aide de grues. Le sol des hangars de pesage et de dépôt temporaire est pavé en dalles de granit ou en dallages de fonte de $1^m,30$ en carré, qui ont mieux résisté que les dalles en granit.

Il n'y a point ici de chemins de fer sur les quais, comme aux docks de Londres ; on a trouvé qu'ils gênaient la circulatinn, et on y a suppléé par de lnngues dalles de pierre.

Les magasins de ces docks présentent des particularités remarquables :

La première, c'est le moyen de faire descendre les barriques dans les caves ;

La deuxième, l'éclairage de ces caves sans y faire entrer des lampes et fanaux ;

La troisième, les moyens de transporter, d'empiler et de désempiler les billes d'acajou et d'autres essences.

Le premier moyen consiste dans un plateau carré porté par une tige en fer, qui peut monter et descendre, lorsqu'il est chargé de fardeaux, par des écoutilles ou puits pratiqués dans les voûtes des caves. La tige est tenue en équilibre par deux contre-poids qui peuvent se mouvoir dans deux petits puits verticaux et sont tenus par des chaînes attachées au plateau. Quand on place un fardeau très-lourd sur le plateau, ce dernier descend, et l'on règle sa descente par une pièce qui agit sur les contre-poids. Le plateau descendu, et débarrassé de sa charge, remonte par l'effet des contre-poids.

La même machine sert à monter les fardeaux au moyen d'un système de roues dentées, mnes par des hommes, et qui, agissant comme une presse hydranlique, forcent l'eau à passer sous un piston qui porte la tige de fer.

Le deuxième moyen, relatif à l'éclairage des caves, se compose de grands verres lenticnlaires pareils à ceux qui servent anjnnrd'hui à faire pénétrer jnsqu'à fond de cale des navires la lumière arrivant sur le pont. Ces lentilles reposent dans des orifices ménagés dans la clef des voûtes. Deux des soupiraux en entonnoirs sont munis de réflecteurs en fer-hlanc ; la lumière réfléchie par eux vient tomber sur un autre miroir en fer-blanc *mobile* sur un pied *amovible*, de manière à réfléchir la lumière sur nn point quelconque. Les onvriers eux-mêmes possèdent des miroirs qui leur servent à voir dans les endroits les plus obscurs, lorsqn'ils les présentent convenablement aux jets de lumière venus des soupiraux. Pl. 134. Fig. 633.

Le troisième expédient consiste à faire courir longitudinalement par le milieu des travées des planchers des combles, sur des chemins de fer à crémaillères, un chariot qui porte nn treuil à engrenage en fonte. Ce treuil sert à saisir les pièces d'acajou qui sont au rez-de-chaussée et à les transporter snr un point quelconque de la longueur du bâtiment.

La dépense première pour les docks, édifices, machines, etc., etc., a été de trente millions de francs. Les produits en 17 ans avaient payé toutes les dépenses annnelles, servi un intérêt de 10 p. c., et économisé nne réserve de vingt millions.

Les droits d'emmagasinage sont de 1 fr. 70 c. par quintal métrique ; de 2 fr. 22 c. par

hectolitre de rhum; de 3 fr. 70 c. par quintal métrique de café; enfin de 6 fr. 20 c. par quintal métrique de coton.

*Docks des Indes orientales.*

Pl. 134. Fig. 655. Les docks des Indes orientales n'ont qu'un seul débouché dans la Tamise. Les navires qu'ils reçoivent, étant d'un fort tirant d'eau, ont comparativement une faible surface de flottaison; la richesse de leur cargaison en réduit le nombre; enfin les voyages étant de longue durée, il y a peu de navires au mouillage habituellement, comparativement à tous ceux qui sont en route. Les docks ont donc moins d'étendue, moins de hangars et de magasins que ceux décrits ci-dessus. La grande valeur des marchandises en dépôt a fait entourer ces docks de hautes murailles. Les marchandises importées se rendent, après le pesage et le contrôle, immédiatement au domicile des propriétaires. On se sert à cet effet de chariots portant une caisse bien fermée et d'une grande dimension, munie d'une porte à clef.

La dépense totale de l'établissement n'a été guère que d'environ dix millions de francs.

*Commercial docks.*

Pl. 134. Fig. 656. Ces docks n'ont qu'une seule entrée pour les six bassins qui forment le groupe principal. La surface totale de l'enceinte est de 607232 mètres carrés, dont 233856 mètres carrés en surface d'eau. Un petit nombre seulement de ces docks est pourvu de hangars de pesage et de magasins; ces derniers s'avancent jusqu'au bord des quais. Les docks sont particulièrement employés pour les navires chargés de blé, de provisions alimentaires, de bois de construction, de résineux et des diverses productions de la Baltique et de l'Amérique anglaise. Il servent aussi de fosses d'immersion et de conservation pour les bois. Les magasins pour les blés peuvent contenir jusqu'à 210000 hectolitres.

L'un des docks les plus spacieux, celui du *Groenland*, pourvu d'une écluse d'entrée, a été acheté par la compagnie des actionnaires pour dix millions. Sa surface, y compris l'éclnse, est de 41914 mètres carrés; et son développement, y compris l'éclnse, de 832 mètres; ce qui fait ressortir le mètre carré de snrface d'eau à 238 fr., et le mètre courant de développement à près de 12.000 francs.

*Ports militaires d'Angleterre.*

Les ports militaires d'Angleterre présentent aussi plusienrs bassins de flot pour les vaisseaux et bâtiments d'un rang inférieur.

Ainsi à Deptford, sur la rive droite de la Tamise, en aval de Londres, il existe un bassin éclusé sur fond vasenx, fermé par un bateau-porte. L'entrée est formée par une voûte renversée continue qui s'oppose efficacement à la poussée des vases et aux filtra-

tions. Une rainure profonde légèrement évasée vers le haut, suivant le contour intrados de la voûte renversée, sert à recevoir la quille, l'étrave et l'étambot; en sorte que le bateau-porte, symétrique sur ses flancs et à une seule quille, peut à volonté retenir les eaux de l'intérieur ou arrêter les eaux de l'extérieur. Deux pompes aspirantes sont destinées à vider le bateau-porte lorsqu'on veut le faire émerger.

A Woolwich, situé sur la même rive de la Tamise que Deptfort et en aval de ce dernier arsenal, il existe un bassin de flot à la suite d'un avant-bassin. Mais les causes de l'exhaussement progressif des bas-fonds de la Tamise vis-à-vis de Woolwich agissent aussi sur ce dernier port, qui abonde en dépôts vaseux. La dépense moyenne de curage annuel y est de 400,000 francs.

A Sheerness, dans l'île de Sheppey, sur la rivière de Medway, il existe un grand bassin carré fermé par un bateau-porte et destiné aux vaisseaux en armement ou en radoub.

On a eu soin de ne pas diriger son entrée perpendiculairement au cours de la rivière, mais bien avec inclinaison vers l'aval, de manière à former un angle aigu avec le fil de l'eau du jusant; car on avait remarqué que ce temps de la marée était celui où la Medway tenait le plus de troubles en suspension. Le jusant, par cette disposition, ne tend pas à pénétrer dans l'entrée et n'y dépose pas. Au contraire, au flot l'eau s'engouffre avec force dans le canal d'entrée, qu'elle cure naturellement.

Portsmouth, situé sur la côte sud d'Angleterre, possède deux bassins de flot, fermés par des bateaux-portes, dont le plus récent a 114 mètres aur 80 mètres.

*Avant-port et bassin de flot du nouvel arsenal maritime de Cherbourg.*

Les travaux de l'avant-port et du bassin de flot du port militaire de Cherbourg, dirigés par M. le baron Cachin, et exécutés successivement par MM. les ingénieurs Eustache, Fouques-Duparc et Leroux, ont présenté de grandes difficultés, heureusement résolues.

L'avant-port, de 292 mètres de longueur sur 230 mètres de largeur, devait être creusé dans le roc vif, sur une profondeur de 8m,37 en contre-bas des basses mers d'équinoxe, bien que la passe d'entrée vers le large ne présentât qu'environ 5 mètres de profondeur d'eau en contre-bas du même niveau. Les deux môles d'entrée et les bajoyers de la passe avaient été fondés sur le rocher par l'intermédiaire de massifs en béton qui rachetaient la différence depuis le sol jusqu'aux basses mers. Les murs de revêtements intérieurs de l'avant-port avaient été assis directement sur le rocher qui découvrait à basse mer, et l'enceinte de l'avant-port avait pu être déblayée jusqu'au même niveau; mais il restait à l'approfondir jusqu'à 8 mètres en contre-bas. Pl. 103. Fig. 525.

Il était évident que l'emploi de batardeaux submersibles et le travail avec la cloche à plongeur ne pouvaient convenir; l'un à raison des épuisements énormes qu'il y aurait eu à faire dans un court intervalle de temps; le second, à raison de son extrême lenteur. Il était donc devenu nécessaire d'établir en travers de la passe un batardeau insubmersible capable de résister aux vagues du large, et de se précautionner contre l'irruption des filtrations, en *morcelant par zones* le travail des excavations intérieures.

Le batardeau avait à supporter un minimum de charge d'eau de 6 mètres à basse mer, et un maximum de 13 mètres au plein de la mer. Son développement devait être de 64 mètres.

Le sol, étant un rocher très-dur, se refusait au système ordinaire de batardeaux avec pilotis et palplanches, et la charpente ne pouvait être œuvrée sur place, parce qu'elle aurait été soumise à toutes les variations des marées. Il fallut donc élever préalablement cette charpente sur un chantier abrité, et assez près de la laisse des basses mers pour qu'il fût possible de l'enlever par des moyens de flottaison, de la remorquer et de la couler à sa destination. L'ensemble de cette charpente pesait 1500000 kilogrammes et contenait 1300 stères de bois. On avait pensé à la décomposer en plusieurs tranches, qu'on aurait mises à flot et coulées séparément, par les procédés employés à Carlscrona par le célèbre Thunberg. Mais l'on recula devant les chances d'un raccordement incomplet
Pl. 124. Fig. 622. et d'une solidarité presque entièrement détruite. On s'arrêta donc à l'imitation des procédés suivis pour la mise à flot et l'échouage des cônes construits par M. Decessart pour la digue de Cherbourg.

Deux rangs de fermes semblables composèrent les faces intérieure et extérieure du batardeau ; ils étaient à 8 mètres d'intervalle. Cet intervalle était destiné à être en entier comblé en terre glaise, et à être dégagé de tout assemblage de charpente qui aurait pu
Pl. 38. Fig. 224. faciliter l'infiltration des eaux. Les deux rangs de fermes furent seulement liés entre eux provisoirement par des croix de Saint-André, assemblées à une hauteur supérieure au niveau des basses mers, afin d'être plus facilement démontées lorsque le moment de la démolition serait venu.

La mise à flot de ce système exigeait le déplacement d'un volume d'eau de près de 1400 mètres cubes. Le moyen le plus simple d'opérer ce déplacement avait paru d'*encaisser* avec solidité la partie inférieure des fermes. Leurs faces extérieures devaient déjà être nécessairement bordées pour contenir les terres du massif : il ne restait donc plus qu'à les border extérieurement en dessus et à leurs extrémités pour former des caisses imperméables dont le vide, composé d'éléments prismatiques, fût reconnu susceptible de produire la mise à flot sur $2^{m},63$ de tirant d'eau.

L'expérience confirma ces appréciations, et cet appareil de charpente, l'un des plus considérables dont on ait tenté le déplacement, fut mis à flot le 5 septembre 1807, remorqué et coulé définitivement le même jour à sa place.

Les caisses qui avaient opéré la mise à flot du batardeau servirent à le fixer immédiatement sur le fond. Elles furent coulées sur-le-champ avec du sable, qui était la matière la plus facile à enlever par les dragues et les courants lorsqu'il s'agirait de détruire le batardeau. Le poids de ce remblai fut plus que suffisant pour prévenir le déplacement.

Les extrémités du batardeau laissaient un vide entre elles et les parements des môles de rive, parce que les fondations de ceux-ci anticipaient de 3 à 4 mètres sur le fond au delà de leur parement. On ferma les vides par des vannages et pilotis jointifs, dont les

intervalles d'un côté à l'autre du batardeau furent remblayés en terre glaise immergée jusqu'au niveau des basses mers. Au-dessus de ce niveau, le batardeau fut bordé en madriers jointifs pour contenir la terre glaise du noyau.

Ce batardeau résista parfaitement à l'action des vagues; mais sa destruction solennelle, lors du passage de l'impératrice Marie-Louise, rencontra de grandes difficultés, et il fallut recourir à la cloche à plongeur pendant plusieurs années consécutives pour déblayer la passe complétement.

Les eaux de filtrations dans l'enceinte à excaver n'étaient pas très-considérables; cependant elles s'élevaient à 9 mètres cubes d'eau par minute, et les machines à vapeur en activité ne pouvaient enlever qu'environ 3 mètres cubes. Il y aurait donc eu insuffisance si l'on n'avait eu soin : 1° de réserver, dans la construction des môles, des aqueducs de communication avec la basse mer du large, pour écouler ainsi naturellement les eaux de filtrations; 2° d'accumuler ces dernières dans les zones des excavations qui devaient être creusées les dernières, d'où elles s'écoulaient à basse mer.

La figure 657 des planches représente la situation des travaux au 15 avril 1809. On y peut remarquer les rampes par lesquelles montaient et descendaient les hommes et les chevaux qui enlevaient les produits des extractions. Au moment de la plus grande activité des travaux d'excavation, on y employa simultanément, en 1808, 1,500 hommes, 400 chevaux et 100 tombereaux. Le cube total des excavations mesuré en déblais a été de 1071422 mètres cubes, qui ont coûté environ 6 fr. 21 c. l'un, pour forage de mines, exploitation, enlèvement et transport. Pl. 131 Fig. 657.

Les parois du rocher excavé au pied des murs de revêtement présentent, du reste, une risberme suffisante pour protéger les fondations des murs, et qui n'est toutefois pas assez saillante pour gêner l'accostage des bâtiments.

L'avant-port de Cherbourg peut contenir 20 vaisseaux de ligne quand la mer n'est pas trop agitée. La dépense pour l'excavation du rocher sur près de 9 mètres de profondeur; pour la construction en pierres de taille de granit du pourtour des quais de 9 mètres de hauteur moyenne, à l'est, à l'ouest, au nord; pour amorcer l'écluse de communication avec l'arrière-bassin de flot; enfin pour le chenal et les musoirs de la passe d'entrée, s'est élevée à 16,618,906 francs. Cet avant-port, commencé en 1804, n'a été terminé qu'en 1815.

Le bassin de flot au nord de l'avant-port a été creusé à la même profondeur et revêtu en maçonnerie dans les zones supérieures au rocher, de 1825 à 1827. On a calculé que, sur sa longueur de 290 mètres et sa largeur de 217 mètres, il pourrait admettre 30 vaisseaux de ligne de premier rang, *placés de bout* aux quais est et ouest.

Ce bassin communique avec l'avant-port par une écluse simple, dont la construction avait été amorcée du côté de l'avant-port pendant qu'on exécutait ce dernier, et qu'on avait munie, après l'achèvement de l'avant-port, d'un bateau-porte destiné à servir ultérieurement de batardeau, à l'abri duquel le reste de l'écluse devait être fait.

D'après les décisions primitives,

1° Le fond du bassin ne devait être qu'à $5^m,12$ en contre-bas des plus basses mers d'équinoxes; en ajoutant à cette cote la dénivellation des moindres hautes mers de morte eau, on avait en effet une profondeur d'eau suffisante pour les vaisseaux de premier rang tout armés.

Mais on a craint que s'il arrivait quelque accident aux portes, les bâtiments dans les *basses mers de vive eau* ne fussent exposés à l'échouage. On a voulu s'assurer la possibilité de renoncer à l'emploi des portes, et de laisser communiquer librement l'avant-port avec le bassin de flot, et la profondeur définitive du bassin de flot a été portée à $9^m,20$.

Pl. 61 et 62. Fig. 299. Pl. 130 et 131. Fig. 641.

2° Le radier de l'écluse mentionné ci-dessus ne devait être qu'à $2^m,60$ en contre-bas des plus basses mers d'équinoxes, parce qu'on avait supposé qu'un vaisseau admis dans l'avant-port pourrait sans inconvénient y attendre la marée convenable, pour traverser l'écluse et pénétrer dans le bassin. Il résultait de là que, dans le cours d'une année, un vaisseau de 120 canons chargé au tirant d'eau de $8^m,18$ avec $0^m,25$ de jeu sous la quille aurait pu franchir l'écluse pendant 142 marées; qu'un vaisseau de 80 tout armé, tirant avec le même jeu $7^m,70$ d'eau, n'aurait eu cette faculté que pendant 229 marées, et qu'un vaisseau de 74 canons tout armé, tirant $7^m,30$ d'eau, aurait pû être admis pendant 303 marées; enfin qu'une frégate armée eût seule pu traverser l'écluse pendant toute l'année.

Mais l'expérience ayant prouvé, *avant l'exécution de la branche est de la digue*, que l'agitation de la mer dans les gros temps et dans l'avant-port y compromettait la sûreté des bâtiments, il fut jugé nécessaire, sans attendre les effets ultérieurs des travaux alors interrompus à la digue, d'approfondir de $1^m,60$ le radier de l'écluse; c'est-à-dire de le porter à la même cote minimum de $4^m,20$ de hauteur d'eau qui se trouve déjà dans la passe d'entrée de l'avant-port vers le large.

Cet approfondissement n'était pas seulement une augmentation de dépense, mais il présentait de grandes difficultés pour l'écluse dont la tête du côté de l'avant-port était déjà fondée, et servait à la tenue du bateau-porte faisant fonctions de batardeau. Il fallait en effet, en deux reprises de travail, d'abord exécuter l'opération dans toute la zone nord vers le nouveau bassin, en serrant d'aussi près que possible vers le sud le bateau-porte de fermeture; puis, après avoir établi les nouvelles fermetures dans cette zone, enlever le bateau-porte et compléter le travail dans la zone où ce bateau-porte reposait et était appuyé antérieurement.

Cette œuvre difficile a été accomplie avec le plus grand succès, de 1828 à 1830, par M. l'ingénieur Leroux, et de la manière suivante, tracée par la commission consultative des travaux de la marine.

Le bateau-porte faisant batardeau du côté de l'avant-port a été chargé de tout le lest qu'il pouvait contenir, afin de diminuer sa tendance au glissement sous la poussée. L'on a augmenté aussi, par un massif de lest, la résistance de la partie des maçonneries du radier qui servait d'appui à ce bateau-porte pendant la première période de travail.

Cette fermeture faisant saillie dans l'avant-port, après avoir été consolidée dans le canevas intérieur de sa charpente, a été accorée à ses extrémités par des arcs-boutants obliques qui reportaient la poussée contre les murs de revêtement de l'avant-port à droite et à gauche de l'entrée de l'éclnse.

On a ensuite démoli les maçonneries intérienres *par tranches* en commençant par les plus éloignées du bateau-porte qui correspondaient aux chardonnets, busc et origine des enclaves des portes de flot. Les anciennes maçonneries d'appui du bateau-porte au sud étaient étayées au fur et à mesure sur les nouvelles maçonneries intérienres de l'écluse, au moyen de pièces de bois amovibles qui, par leur nombre et leur équarrissage, pouvaient faire équilibre à la ponssée de 1,254 tonneaux, transmise par le bateau-porte. Les chargements de lest en fonte et le bateau-porte ont été ensuite enlevés, et il n'est plus resté à approfondir qu'une zone de 7 mètres dans le sens de l'axe de l'écluse vers l'avant-port. Elle ne devait être qu'aplanie et revêtue simplement en maçonnerie pour la pose du beurtoir d'nn bateau-porte de réserve destiné à soutenir les eaux du côté de l'avant-port. Ce dernier travail a été exécuté par une sonnette montée sur nn radeau ponton, et frappant sur des faux pienx armés de ciseaux tranchants en fer. Ces faux pieux et ciseaux étaient dirigés par des ouvriers plongeurs. Le revêtement partiel en maçonnerie de cette zone sud du nouveau radier a été fait avec la cloche à plongeur.

Le système de fermeture de l'écluse approfondie avait été l'objet de longues discussions.

D'abord on avait pensé à soutenir les eaux dans le bassin seulement à l'aide de portes d'ebbe ou d'un bateau-porte susceptible aussi par sa forme de retenir à volonté les eaux extérieures pendant le flot, et les eaux intérieures pendant le jusant. Mais le bateau-porte avait été reconnu ne pouvoir être manœuvré par les gros temps, à cause de la forte boule qui *existait alors* dans l'avant-port; cette boule pouvait anssi concourir, dans les vives eaux, avec les eaux du flot et causer des dommages très-graves *aux portes d'ebbe uniques*, dommages que des *valets d'accorage* vers l'intérieur ne semblaient pas pouvoir prévenir.

On en vint ensuite à proposer la combinaison de ces deux moyens, et le placement du bateau-porte à l'extérieur vers l'avant-port, et celui des portes d'ebbe vers le bassin de flot. Celles-ci devaient être babituellement ouvertes, surtout dans les gros temps.

Mais ce système avait été repoussé : 1° parce que toutes les fois qu'il y aurait eu de la boule dans l'avant-port, on n'aurait pas ouvert l'écluse par crainte de ne pouvoir manœuvrer le bateau-porte, 2° que toutes les fois que, par une cause quelconque, le bateau-porte n'aurait pu être remis en place, les portes d'ebbe auraient couru les mêmes chances que si le batardeau n'avait pas existé.

On adopta en conséquence les dispositions suivantes :

Portes de flot du côté de l'avant-port avec valets intérieurs d'accorage pour soutenir le cboc des vagues ;

Portes d'ebbe du côté du bassin accorées de la même manière;

Bateaux-portes facultatifs aux deux têtes de l'écluse, comme moyens de fermeture subsidiaires, en cas de réparations de l'écluse et de ses portes;

Indépendamment de ces charpentes, l'écluse porte un pont tournant.

Pl. 61 et 62. Fig. 299. Pl. 87. Fig. 430. Pl. 88. Fig. 440 et Pl. 130 et 131. Fig. 641.

Les figures 299, 430, 440 et 641 des planches représentent l'ensemble de ces dispositions. On peut remarquer qu'habituellement, pour soulager les portes d'ebbe et de flot, on pouvait laisser l'eau se maintenir à un certain niveau dans l'intervalle qui les sépare.

Pl. 61 et 62. Fig. 299. Pl. 87. Fig. 430 et Pl. 88. Fig. 440.

Ainsi qu'il a été dit, les nouvelles portes du bassin de flot devaient être presque de la même pesanteur spécifique que l'eau, à l'aide d'un bordé extérieur appuyé sur les deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième entretoises. Le bordé formait ainsi quatre cases séparées, d'une capacité ensemble de 14 mètres cubes, qu'on eût pu remplir et vider à volonté à l'aide de robinets, en sorte qu'on eût atteint le point précis où les portes tendaient à émerger. On a dit aussi par quelle cause ces prévisions ont été démenties.

Pour soutenir les vantaux dans toutes leurs parties, M. l'ingénieur Leroux avait projeté de forts verrous au bas des poteaux busqués; en outre, des *embardures* ou *espagnolettes* devaient maintenir juxtaposés à leur tête supérieure les deux poteaux busqués qui s'arc-boutaient.

Pendant que les dispositions projetées pour l'écluse et ses fermetures s'exécutaient, on avait entrepris à la digue les maçonneries de la muraille de la branche est. On s'aperçut bientôt que ce travail, en s'avançant progressivement, diminuait de beaucoup dans les gros temps l'agitation de la mer dans l'avant-port.

On se dispensa en conséquence de mettre en place les portes de flot, et on les garda pour servir ultérieurement à remplacer les portes d'ebbe, dont judicieusement on leur avait donné toutes les dimensions. Les portes d'ebbe elles-mêmes restent aujourd'hui habituellement ouvertes et débarrassées de leurs valets, et les marées jouent librement dans le bassin comme dans l'avant-port.

La dépense du creusement du bassin de flot dans le rocher, celle des murs de quai de pourtour, s'est élevée à 4,897,373 fr., non compris les écluses de communication avec l'avant-port et l'arrière-bassin en exécution et avec la gare de mâture projetée au nord.

L'écluse de communication du bassin avec l'avant-port a seule coûté, après les remaniements dont elle a été l'objet, et y compris le pont tournant et les portes d'ebbe et de flot, 932,040 fr.

### *Bassin de flot de l'arsenal militaire de réserve de Dunkerque.*

Le bassin de flot que possède la marine militaire à Dunkerque, de 28429 mètres carrés de surface, avec écluse simple, dont le seuil est à 6m,37 au-dessous des hautes mers de vive eau, avait été détruit en 1712, par suite d'un traité de paix onéreux avec l'Angleterre. On avait reconstruit ce bassin en 1793, mais on avait supprimé les portes de flot. Le radier n'avait point été réparé dans toute son étendue, et l'on avait même été

obligé de le relever de 30 centimètres dans la zone correspondante au busc et aux écluses des portes d'ebbe. Enfin les parements des bajoyers étaient en charpente dans cette zone, tandis qu'ils étaient en maçonnerie dans toutes les autres. Les portes de flot ou d'ebbe, n'ayant pas été entretenues, tombaient de désuétude ; et l'action journalière des marées chargées de troubles avait envasé le bassin à ce point, qu'en 1831 il y avait une couche de 4$^{m}$,50 de haut. Au reste, on avait reconnu que le dépôt mensuel, surtout après l'enlèvement des portes d'ebbe, avait été de 27 mètres cubes par mois ou de 0$^{m}$,32 de hauteur par an.

En 1831 le bassin fut dévasé et l'on refit l'écluse, mais en l'élargissant de 13$^{m}$,36 à 16 mètres dans sa partie supérieure en contre-haut du radier du busc, de manière que des bateaux à vapeur de 200 chevaux pussent passer en pleines mers de morte eau. On imita, à cette occasion, ce qui avait été fait vingt-six ans auparavant à Flessingue, par feu M. Sganzin.

Mais les portes d'ebbe, n'ayant à soutenir que 4$^{m}$,37 d'eau, ne furent pas ici divisées en deux sur le sens de la hauteur. Pour les faire servir comme fermetures de flot, on les munit de valets mobiles autour de charnières verticales. Ces valets n'ayant à résister qu'à une différence de niveau du dehors au dedans de 1 mètre à 1$^{m}$,50 ; leurs entretoises horizontales devant fonctionner comme pièces chargées de bout, tandis que les entretoises des portes ordinaires fonctionnent en grande partie comme pièces chargées en travers, on réduisit à cinq le nombre des entretoises de ces valets. On leur donna d'ailleurs 0$^{m}$,45 sur 0$^{m}$,42 d'équarrissage sur 7$^{m}$,80 de longueur.

Comme des ventelles intérieures n'auraient pu résister à la poussée du dehors au dedans quand les portes d'ebbe accorées par les valets auraient tenu lieu de portes de flot, on plaça à la fois des ventelles vers le large et vers l'intérieur, se soulageant ainsi mutuellement ; c'est-à-dire que, lorsque les vantaux auraient eu à résister au flot, les ventelles extérieures eussent été fermées et qu'elles eussent été ouvertes dans le cas contraire. Les vantaux ont été d'ailleurs munis par le bas de verrous qui s'engageront facultativement dans les trous forés de plaques de fer scellées sur le radier.

Ce travail, terminé en 1832 par MM. les ingénieurs Bosquillon et Cuel, a parfaitement réussi.

L'ouvrage de M. Frissart, intitulé : *Histoire du Havre*, présente des faits très-intéressants relatifs à l'établissement successif des divers bassins de flot de cette grande place commerciale.

Le tableau ci-contre fournit les notions qu'il a été possible de recueillir sur les bassins de flot, docks et darses existants en France et hors de France : c'est plutôt un cadre ouvert pour recevoir les chiffres qu'on a pu réunir.

*Tableau indicatif des renseignements qu'on a pu recueillir sur les principaux bassins d'échouage,*

| INDICATION des PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION des bassins et docks. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION des écluses d'entrée. | DÉPENSE TOTALE de construction. | LONGUEUR MOYENNE des bassins docks ou darses. | LARGEUR MOYENNE des bassins, docks ou darses. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE de la nappe d'eau. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF des quais accostables. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. Nombre total que le bassin, dock ou darse peut contenir simultanément. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. Tonnage total de ces navires. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. Nombre total que le bassin, dock ou darse peut contenir simultanément. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. Tonnage total de ces navires. | PROFONDEUR DE L'EAU dans le bassin, dock ou darse aux moindres hautes mers de morte eau. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Ports de l'Océan hors de France.* | | | | | | | | | | | | |
| *Port de Hambourg.* | | | | | | | | | | | | |
| Premier bassin à l'ouest | ... | ... | ... | m. 210 | m. 120 | m. q. 25,200 | m. 450 | | | | | |
| Deuxième bassin à l'est | ... | ... | ... | 400 | 100 | 40,000 | 900 | | | | | |
| Troisième bassin, nommé Binne-Alster. | ... | ... | ... | 470 | 400 | 172,000 | 1,300 | | | | | |
| *Ports de la Hollande.* | | | | | | | | | | | | |
| Nouveau port du Helder | ... | ... | ... | 260 | 160 | 33,800 | 680 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Port d'Amsterdam | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Port de Rappenbourg | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Ancienne écluse de Muyden | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Écluse de Sporendam | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Écluse de Katwyck | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Écluse du sas Luys, près Gouda | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Port militaire d'Helvoetsluys | ... | ... | ... | 837 | 225 | 138,335 | 1,310 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de Flessingue.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot militaire. | ... | ... | ... | 626 | 69 | 43,231 | 1,280 | 25 vaisseaux de 74 | tonn. 37,500 | ... | ... | ... |
| Bassin du commerce, dit Anglais, rectifié | ... | ... | ... | 156 | 60 | 9,360 | 392 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Bassin intermédiaire rectifié. | ... | ... | ... | 200 | 62 | 12,400 | 500 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Ports de la Belgique.* | | | | | | | | | | | | |
| *Port d'Anvers.* | | | | | | | | | | | | |
| Premier bassin de flot. | ... | ... | ... | 153 | 172 | 26,316 | 532 | 11 vaisseaux de ligne debout à quai. | 22,000 | ... | ... | ... |
| Deuxième bassin de flot | ... | ... | ... | 410 | 172 | 70,502 | 778 | 28 vaisseaux de ligne debout à quai. | 56,000 | ... | ... | ... |
| *Ports de la Grande-Bretagne.* | | | | | | | | | | | | |
| *Docks sur la Tamise à Londres.* | | | | | | | | | | | | |
| Docks de Ste-Catherine. Avant-bassin d'entrée. | ... | ... | fr. 33,800,000 pour docks, édifices et machines. | 121 | 62 | 7,300 | 300 | ... | ... | navir. 100 | ... | m. 6,60 |
| Docks de Ste-Catherine. Docks de l'ouest | ... | ... | | 131 | 93 | 14,400 | 528 | ... | ... | | ... | 6,60 |
| Docks de Ste-Catherine. Docks de l'est | ... | ... | | 153 | 114 | 17,500 | 555 | ... | ... | | | 6,60 |
| | | | | | | 39,400 | 1,383 | | | | | |

*bassins de flot, docks ou darses, hors de France et en France, ainsi que sur leurs fermetures.*

| ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur du mur de chute vers le sas. | LARGEUR du débouché des écluses simples ou à sas, entre le pied des bajoyers. | LARGEUR du débouché des écluses simples ou à sas, entre le haut des bajoyers. | LARGEUR DU SAS dans les écluses à sas. | ÉCLUSE SIMPLE. Longueur de l'écluse de tête en tête. | ÉCLUSE A SAS. Longueur du sas. | ÉCLUSE A SAS. Longueur de l'écluse de tête en tête. | FERMETURES avec portes tournantes. Saillie du busc. | FERMETURES avec portes tournantes. Longueur de chaque vantail. | FERMETURES avec portes tournantes. Hauteur des vantaux. | ÉPAISSEUR totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en bois. | ÉPAISSEUR totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en tôle. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | m. 20 | m. 20 | | m. 40 | | | | m. 6,60 | m. Porte d'amont 6,00 Intermédiaire 4,60 En aval 4,00 | m. 0,32 0,30 0,28 | | Portes d'ebbe et de flot. Pont mobile sur l'écluse. |
| | | | | | | | | | | | | 8,30 | 4,00 | 0,40 | | |
| | | | | | | | | | | | | 9,00 | 7,10 | 0,40 | | |
| | | | | | | | | | | | | 6,45 | 7,26 | 0,36 | | |
| | | | | | | | | | | | | 7,60 | 6,78 | 0,30 | | |
| | | | | | | | | | | | | 11,00 | 6,78 | 0,30 | | |
| | | | | | | | | | | | | 6,28 | Porte d'amont 7,64 Intermédiaire 7,07 Antérieure. . 5,15 | 0,30 0,29 0,28 | | |
| | | | | | 19 | 19 | | 46 | | | m. 3,60 | 11,00 | 8,30 | 0,45 | | Portes d'ebbe. Portes de flot. Pont mobile. |
| | m. 6,19 | | | | 14,40 | 16,22 | | 40 | | | | | 4,70 le rang inférieur. 3,40 le rang supérieur. | | | L'écluse refaite était plus large au haut qu'en bas, et présentait deux étages de portes de flot et d'ebbe. Ces dernières étaient de plus accorées par des valets. |
| | | | | | 13 | 15,00 | | 45 | | | 3,80 | 11,00 | | | | |
| | | | | | 10 | Point d'écluse. | | | | | Point d'écluse. | | | | | |
| | | | | | | 16,00 | | 60 | | | | | | | | L'écluse d'entrée de ce bassin dans l'Escaut présente deux paires de portes d'ebbe et un jeu de portes de flot. |
| | | | | | | 19,00 | | 38 | | | | | | | | L'écluse intermédiaire aux deux bassins a une paire de portes de flot et une paire de portes d'ebbe. |
| m. 5,875 | m. 6,70 | m. 5,875 | m. 6,70 | m. | | 13,50 | | 54 | | | | | | | | La surface totale de l'enceinte de ces docks, y compris les édifices et rues, est de 9 hect. 10. |
| | | | | 1,30 | | | | | | | | | | | | Il y a dans les écluses une paire de portes intermédiaires. |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

| INDICATION DES PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES BASSINS ET DOCKS. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES ÉCLUSES D'ENTRÉE. | DÉPENSE TOTALE DE CONSTRUCTION. | LONGUEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | LARGEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE DE LA NAPPE D'EAU. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF DES QUAIS ACCOSTABLES. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. | | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. | | PROFONDEUR DE L'EAU DANS LE BASSIN, DOCK OU DARSE AUX MOINDRES HAUTES MERS DE MORTE EAU. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | |
| | | | | fr. | m. | m. | m.q. | m. | | | navir. | tonn. | m. |
| Docks dits de Londres. | Grand dock de l'ouest. | ... | ... | 37,500,000 pour docks, édifices et machines. | 378 | 288 | 10,886 | 1,200 | ... | ... | 90 | ... | ... |
| | Petit dock de l'est | ... | ... | | 163 | 120 | 13,800 | 500 | ... | ... | 27 | ... | |
| | Bassin de l'Hermitage. | ... | ... | | 90 | 45 | 4,050 | 200 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Wapping bassin. | ... | ... | | 150 | 81 | 12,141 | 450 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Bassin de l'est | ... | ... | | 129 | 45 | 5,305 | 258 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Docks pour les tabacs. | ... | ... | | 84 | 45 | 2,940 | 168 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | | | | | | | 49,122 | 2,776 | | | | | |
| Docks des Indes occidentales. | Bassin d'entrée de Limehouse à l'ouest. | ... | ... | 30,000,000 pour docks, édifices, réservoirs et machines. | 90 | 84 | 8,064 | 210 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Bassin d'entrée de Blackwall à l'est | ... | ... | | 225 | 107 | 24,190 | 541 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Dock d'importations | ... | ... | | 810 | 150 | 121,500 | 1,920 | ... | ... | 138 | 120,000 | 6,27 |
| | Dock d'exportations | ... | ... | | 810 | 120 | 97,200 | 1,840 | ... | ... | 132 | | 6,47 |
| | Canal de la Cité ou dock du sud | ... | ... | | 1110 | 50 | 55,500 | 2,120 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Dock pour les bois. | ... | ... | | 600 | 90 | 54,000 | 1,380 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | | | | | | | 360,454 | 8,011 | | | | | |
| Docks des Indes orientales. | Bassin d'entrée | ... | ... | 10,000,000 pour docks, édifices et machines. | 200 | 75 | 15,000 | 633 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Grand dock d'importations | ... | ... | | 423 | 168 | 71,064 | 1,250 | ... | ... | 90 | ... | 6,90 |
| | Petit dock d'exportations. | ... | ... | | 228 | 139 | 31,692 | 660 | ... | ... | 58 | | |
| | | | | | | | 117,756 | 2,543 | | | | | |
| Docks du commerce. | Dock n° 1, dit du Groenland | ... | ... | 10,000,000 | 290 | 126 | 36,540 | 772 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Dock n° 2. | ... | ... | ... | 180 | 40 | 7,200 | 410 | ... | ... | ... | ... | |
| | Dock n° 3. | ... | ... | ... | 175 | 84 | 14,700 | 470 | ... | ... | ... | ... | |
| | Dock n° 4. | ... | ... | ... | 313 | 129 | 40,320 | 794 | ... | ... | ... | ... | |
| | Dock n° 5. | ... | ... | ... | 332 | 182 | 60,480 | 944 | ... | ... | ... | ... | |
| | Dock n° 6. | ... | ... | ... | 272 | 274 | 74,592 | 935 | ... | ... | ... | ... | |
| *Port de Hull, dans la région nord-est de l'Angleterre.* | | | | | | | 235,832 | 4,323 | | | | | |
| Docks du Hull. | Bassin d'entrée du vieux dock dans la rivière de Hull | ... | ... | ... | 64,9 | 24,30 | 1,586 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | *Id.* du dock nouveau dans la rivière de l'Humber | ... | ... | ... | 82,3 | 32,5 | 10,770 | 360 | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Vieux dock du Hull. | ... | ... | ... | 518,9 | 77,40 | 38,150 | 935 | ... | ... | 100 | 69,000 | 4,26 |
| | Dock de l'Humber | ... | ... | ... | 278,7 | 104,20 | 28,922 | 554 | ... | ... | 70 | | 6,09 |
| | Dock de jonction | ... | ... | ... | 196,5 | 124,00 | 24,125 | 372 | ... | ... | 60 | | 4,26 |
| | | | | | | | 103,553 | 2,259 | | | | | |

| Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. | Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau. | Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur les mêmes radiers aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | Écluse à sas. Hauteur du mur de chute vers le sas. | Largeur du débouché des écluses simples ou à sas. Entre le pied des bajoyers. | Largeur du débouché des écluses simples ou à sas. Entre le haut des bajoyers. | Largeur du sas dans les écluses à sas. | Écluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête. | Écluse à sas. Longueur du sas. | Écluse à sas. Longueur de l'écluse de tête en tête. | Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc. | Fermetures avec portes tournantes. Longueur de chaque vantail. | Fermetures avec portes tournantes. Hauteur des vantaux. | Épaisseur totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en bois. | Épaisseur totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en fonte. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | La surface totale de l'enceinte, y compris édifices et rues, est de 28 hectares. Les édifices ont cinq étages de hauteur. |
| . . . | . . . | m. 7,67 | m. 8,50 | . . . | m. 7,00 | m. 12,25 | m. 12,23 dans le haut. | . . . | m. 51 | m. 129 | m. 3,60 | m. 7,00 | m. 8,00 | m. 0,40 | . . . | |
| . . . | . . . | 7,07 | 7,90 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | 6,62 | 7,45 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | 7,30 | 8,12 | . . . | . . . | 13,60 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | La superficie totale de l'enceinte, y compris édifices et rues, est de 56 hectares. Les édifices les plus élevés ont six étages, y compris le rez-de-chaussée. |
| . . . | . . . | 6,77 | 7,60 | . . . | . . . | 13,60 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | 6,77 | 7,60 | . . . | . . . | 13,50 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | La superficie totale des surfaces d'eau, y compris les canaux d'entrée, est de 15 hectares trois cinquièmes. |
| 6,90 | m. 7,75 | . . . | . . . | . . . | . . . | 14,40 | . . . | 63 | | | | | | | | |
| 8,655 | . . . | 9,485 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | L'enceinte totale a 26 hectares, y compris édifices et rues. |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | La surface totale des terre-pleins des quais est de 5 hectares 9. Celle de l'espace occupé par les édifices est de 0 hectare 50. |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | |
| . . . | . . . | 4,26 | 6,09 | . . . | . . . | 11,38 | 11,38 | . . . | 36,80 | 71,60 | . . . | 6,90 | 7,37 | 0,40 | . . . | |
| . . . | . . . | 6,09 | 7,62 | . . . | . . . | 12,80 | 12,80 | . . . | 48,74 | 76,00 | . . . | 8,93 | 9,34 | 0,41 | . . . | |
| . . . | . . . | 4,26 | 6,09 | . . . | 7,20 | 11,15 | 11,15 | . . . | 36,56 | 62,00 | 2,30 | 6,60 | 7,63 | 0,43 | . . . | |

| INDICATION DES PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES BASSINS ET DOCKS. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES ÉCLUSES D'ENTRÉE. | DÉPENSE TOTALE DE CONSTRUCTION. | LONGUEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | LARGEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE DE LA NAPPE D'EAU. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF DES QUAIS ACCOSTABLES. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. Nombre total que le bassin, dock ou darse peut contenir simultanément. | Tonnage total de ces navires. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. Nombre total que le bassin, dock ou darse peut contenir simultanément. | Tonnage total de ces navires. | PROFONDEUR DE L'EAU dans le bassin, dock ou darse aux moindres hautes mers de morte eau. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Port de Leith en Écosse, sur la côte est.* | | | | | | | | | | | | |
| Deuxième bassin de flot . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | m. 250 | m. 100 | m. 25,000 | m. 686 | . . . | . . . | 40 | 8,000 | m. 5,50 |
| *Port de Dundee en Écosse, sur la côte est.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin d'échouage . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 229 | 137 | 31,373 | | | | | | |
| *Port d'Ardrossan, sur la côte ouest de l'Écosse, près de Glascow.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot. . . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 300 | 100 | 30,000 | 786 | . . . | . . . | 80 à 100 | 8,224 | 4,88 |
| *Port de Liverpool sur la côte ouest de l'Angleterre.* | | | | | | | | | | | | |
| *Bassins d'échouage.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin du Prince . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 17,483 | 463 | | | | | |
| Bassin de Seacombe . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 1,306 | 172 | | | | | |
| Bassin de Georges . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 13,687 | 416 | | | | | |
| Bassin de Georges-Ferry . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 1,124 | 146 | | | | | |
| Bassin d'entrée du Canning dock . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 6,465 | 408 | | | | | |
| Bassin du Roi et de la Reine. . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 20,387 | 549 | | | | | |
| Bassin de Brunswick . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 19,748 | 525 | | | | | |
| Bassin de South-Ferry . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 2,447 | 187 | | | | | |
| | | | | | | 82,847 | 2,866 | | | | | |
| *Docks de flot et de mi-marée.* | | | | | | | | | | | | |
| Premier dock. . . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 10,463 | 372 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Deuxième dock . . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . | . . . | 7,727 | 260 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . |
| | | | | | | 18,190 | 632 | | | | | |
| *Docks ordinaires.* | | | | | | | | | | | | |
| Clarence dock . . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 220 | 110 | 25,332 | 675 | 42 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Dock nouveau n° 1. . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 220 | 100 | 27,412 | 674 | 33 | | | | |
| Dock nouveau n° 2. . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 230 | 90 | 23,307 | 633 | 39 | | | | |
| Dock nouveau n° 3, dit de Waterloo . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 230 | 100 | 22,783 | 640 | 39 | | | | |
| Dock du Prince . . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | p. terrains, fr. 2,300,000 p. travaux, 11,526,000 | 440 | 90 | 45,020 | 1,085 | 72 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Dock de Georges. . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | 500,000 pour le dock. | 210 | 90 | 20,339 | 589 | 36 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Dock de Canning . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 173 | 100 | 13,960 | 432 | 18 | | | | |
| Dock de Salthouse . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 210 | 90 | 18,815 | 608 | 36 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Dock du Roi . . . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 230 | 110 | 31,135 | 731 | 39 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Dock de la Reine. . . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 400 | 100 | 42,007 | 989 | 66 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Dock de Brunswick. . . . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 300 | 120 | 30,325 | 919 | 60 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| | | | | | | 320,655 | 7,995 | 480 | 103,500 | | | |

| ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le mère radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur du mur de chute vers le sas. | LARGEUR du débouché des écluses simples ou à sas. Entre la pied des bajoyers. | LARGEUR du débouché des écluses simples ou à sas. Entre le haut des bajoyers. | LARGEUR DU SAS dans les écluses à sas. | ÉCLUSE SIMPLE. Longueur de l'écluse de tête en tête. | ÉCLUSE A SAS. Longueur du sas. | ÉCLUSE A SAS. Longueur de l'écluse de tête en tête. | FERMETURES AVEC PORTES TOURNANTES. Saillie du busc. | FERMETURES AVEC PORTES TOURNANTES. Longueur de chaque vantail. | FERMETURES AVEC PORTES TOURNANTES. Hauteur des vantaux. | ÉPAISSEUR TOTALE DES VANTAUX AU MILIEU DE LEUR LONGUEUR. Vantaux en bois. | ÉPAISSEUR TOTALE DES VANTAUX AU MILIEU DE LEUR LONGUEUR. Vantaux en fonte. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | m. 12,37 | | | | | | | | | | |
| m. 4,01 entrée O. | m. 7,40 entrée O. | | | | | 13,00 | | | | | | | | | | |
| 3,85 entrée S. | 7,25 entrée S. | | | | | 12,80 | | | | | | | | | | |
| 2,75 | 6,17 | | | | | 12,80 | | | | | | | | | | |
| 4,25 entrée O. | 7,65 | | | | | 14,34 | | | | | | | | | | |
| 3,10 entrée E. | 6,50 | | | | | 14,34 | | | | | | | | | | |
| 4,00 entrée N. | 7,40 entrée N | | | | | 13,73 | | | | | | | | | | |
| 4,00 entrée S. | 7,40 entrée S. | | | | | 13,73 | | | | | | | | | | |
| 3,55 entrée N. | 6.95 entrée N. | | | | | 12,80 | | | | | | | | | | |
| 2,50 entrée S. | 5,90 entrée S. | | | | | 11,05 | | | | | | | m. 7,93 | | | |
| 2,30 | 5,90 | | | | | 10,13 | | | | | | | 7,62 | | | |
| 2,95 | 6,35 | | | | | 12,85 | | | | | | | 7,85 | | | |
| 2,75 entrée N. | 6,13 entrée N. | | | | | 12,80 | | | | | | | | | | |
| 3,15 entrée S. | 6,33 entrée S. | | | | | 12,80 | | | | | | | | | | |
| 3,57 | 6,97 | | | | | 12,80 | | | | | | | | | | |

| INDICATION DES PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES BASSINS ET DOCKS. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES ÉCLUSES D'ENTRÉE. | DÉPENSE TOTALE DE CONSTRUCTION. | LONGUEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | LARGEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE DE LA NAPPE D'EAU. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF DES QUAIS ACCOSTABLES. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | PROFONDEUR DE L'EAU DANS LE BASSIN, DOCK OU DARSE AUX MOINDRES HAUTES MERS DE MORTE EAU. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Port de Bristol sur la côte sud-ouest de l'Angleterre.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de Cumberland. | ... | ... | ... | m 210 | m. 90 | m. q. 18,900 | m. q. 480 | ... | ... | 24 | ... | m 8,30 |
| Bassin de flot. | ... | ... | ... | 140 | 80 | 11,200 | 420 | 24 | ... | ... | ... | 6,80 |
| Bassin de Bathurst. | ... | ... | ... | 110 | 70 | 7,700 | 300 | 10 | ... | ... | ... | réduits à 6 m. par la vase. |
| Bassin de flot nº 1 | ... | ... | ... | 700 | 40 | 28,000 | 1,400 | 36 | ... | ... | ... | |
| Bassin de flot nº 2 | ... | ... | ... | 2,200 | 40 | 88,000 | 4,400 | 100 | ... | ... | ... | |
| Bassin de flot nº 3 | ... | ... | ... | 1,500 | 80 | 120,000 | 3,000 | 76 | ... | ... | ... | |
| | | | | | | 273,800 | 10,000 | 246 | | 24 | | |
| *Port militaire de Portsmouth.* | | | | | | | | | | | | |
| Premier bassin de flot ancien, fermé par un bateau-porte. | ... | ... | ... | 75 | 40 | 3,000 | 240 | | | | | |
| Deuxième bassin nouveau, fermé par un bateau-porte | ... | ... | ... | 115 | 80 | 9,120 | 225 | | | | | |
| *Port militaire de Plymouth.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de l'ouest. | ... | ... | ... | 80 | 54 | 4,320 | 225 | | | | | |
| *Ports de l'Océan en France.* | | | | | | | | | | | | |
| *Port de Dunkerque.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot pour la marine militaire. | ... | ... | ... | 300 | 100 | 30,000 | 720 | ... | ... | ... | ... | 4,37 |
| *Port de Calais.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin du Paradis non éclusé | ... | ... | 2,220,000 dépense estimée. | 150 | 60 | 9,000 | 380 | | | | | |
| Nouveau bassin de flot en exécution | ... | ... | | 250 | 75 | 19,000 | 540 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Le Tréport.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot en exécution | ... | ... | ... | ... | ... | 16,000 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de Dieppe.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot. | ... | ... | ... | 238 | 118 | 28,054 | 560 | 25 grands navires. | ... | ... | ... | ... |
| *Port de Saint-Valery-en-Caux.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot nouveau. | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de Fecamp.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot nouveau. | ... | ... | ... | 228 | 91 | 20,738 | 626 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port du Havre.* | | | | | | | | | | | | |
| Avant-port d'échouage. | ... | ... | ... | 350 | 80 | | | | | | | |
| Port d'échouage ancien | ... | ... | ... | 300 | 150 | 96,000 | 1,800 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Port d'échouage nouveau au sud | ... | ... | ... | 230 | 160 | | | | | | | |
| Bassin du Roi. | fr. 1,244,000 | fr. 1,444,960 | fr. 2,685,060 | 150 | 80 | 12,000 | 435 | 20 | tons. 9,000 | ... | ... | 4 20 |

| ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur du mur de chute vers le sas. | LARGEUR DU DÉBOUCHÉ DES ÉCLUSES SIMPLES OU A SAS. Entre le pied des bajoyers. | LARGEUR DU DÉBOUCHÉ DES ÉCLUSES SIMPLES OU A SAS. Entre le haut des bajoyers. | LARGEUR DU SAS dans les écluses à sas. | ÉCLUSE SIMPLE. Longueur de l'écluse de tête en tête. | ÉCLUSE A SAS. Longueur du sas. | ÉCLUSE A SAS. Longueur de l'écluse de tête en tête. | FERMETURES AVEC PORTES TOURNANTES. Saillie du busc. | FERMETURES AVEC PORTES TOURNANTES. Longueur de chaque vantail. | FERMETURES AVEC PORTES TOURNANTES. Hauteur des vantaux. | ÉPAISSEUR TOTALE DES VANTAUX AU MILIEU DE LEUR LONGUEUR. Vantaux en bois. | ÉPAISSEUR TOTALE DES VANTAUX AU MILIEU DE LEUR LONGUEUR. Vantaux en fonte. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. 4,60 | m. 10,10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | m. 11,10 | 13,70 Bief de droite. | | m. 57,33 | | | | m. 6,50 | m. 8,60 | m. 0,68 | | |
| | | | | | 8,10 | 10,78 Bief de droite. | | | | | | | | | | |
| 4,37 | 6,37 | | | | 13,46 | 18,00 | | 50 envir. | | | | | 7,80 | 0,55 | | Les portes d'ebbe sont munies de valets pour fonctionner comme portes de flot. |
| | | | | | | 16,50 | | 43 envir | | | | | | | | |
| | | | | | | 8,00 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 14,00 | | 35 envir. | | | | | | | | |
| | | | | | | 9,25 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 10,00 | | | | | | | | | | |
| | 200 caboteurs. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4,30 | 6,70 | | | | 13,10 | 16,30 | | 57,50 | | | m. 3,00 saillie moyenne. | m. 10,75 le plus long. 8,20 le plus court. | 7,20 | m. 0,60 le plue long. 0,45 le plue court. | | |

| INDICATION DES PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES BASSINS ET DOCKS. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES ÉCLUSES D'ENTRÉE. | DÉPENSE TOTALE DE CONSTRUCTION. | LONGUEUR MOYENNE DES BASSINS DOCKS OU DARSES. | LARGEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE DE LA NAPPE D'EAU. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF DES QUAIS ACCOSTABLES. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. | | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. | | PROFONDEUR DE L'EAU DANS LE BASSIN, DOCK OU DARSE AUX MOINDRES HAUTES MERS DE MORTE EAU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | |
| | fr. | fr. | fr. | m. | m. | m. q. | m | | tonn. | navires. | tonn. | m. |
| Bassin de la Barre | 5,249,000 | 2,122,000 | 7,371,000 | 450 | 110 40 | 49,700 | 1,100 | 80 | 36,000 | . . . | . . . | 4,20 |
| Bassin du commerce | 3,267,000 | 1,442,000 pour deux écluses. | 4,709 400 | 550 | 100 | 55,000 | 1,200 | 100 | 45,000 | . . . | . . . | 4,00 |
| Bassin de Vauban, dont l'élargissement est en exécution | 591,200 | 825,830 | 1,417,030 | 750 | 100 | 75,000 | 1,500 | 150 | 67,500 | . . . | . . . | 3,75 |
| *Port de Honfleur.* | | | | | | | | | | | | |
| Vieux bassin | . . . | . . . | . . . | 130 | 75 | 9,750 | 255 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Bassin neuf | . . . | . . . | . . . | 150 | 90 | 13,900 | 375 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Troisième bassin en construction | . . . | . . . | . . . | 140 | 50 | 7,000 | 352 | 40 | . . . | . . . | . . . | . . . |
| Sas d'Ostsganem à l'embouchure de la rivière de Caen | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . |
| *Port de Cherbourg.* | | | | | | | | | | | | |
| Nouvel arsenal militaire | . . . | . . . | 16,618,000 | 280 | 230 | 64,400 | 430 | 23 vaisseaux de 1er rang debout aux quais sur une seule ligne. | 51,000 | . . . | . . . | 13,87 |
| Bassin de flot exécuté | 4,872,873 | Grande écluse sud 939,547 | 5,812,420 | 270 | 230 | 62,100 | 910 | *Idem.* | . . . | . . . | . . . | 13,87 |
| Arrière-bassin de flot en exécution. | évalué 11,000,000 | 2 écluses évaluées ensemble 2,126,000 | évalué 13,126,000 | 400 | 200 | 80,000 | 740 | 23 vaisseaux de 1er rang debout aux quais sur une seule ligne. | . . . | . . . | . . . | 13,87 |
| *Port de commerce de Cherbourg.* | | | | | | | | | | | | |
| Avant-port agrandi. | . . . | . . . | . . . | 360 | 188 | 67,680 | 480 actuellement. 720 ultérieurement | . . . | . . . | 150 | 12,000 | . . . |
| Bassin de flot. | . . . | . . . | . . . | 406 | 127 | 51,600 | 812 | . . . | . . . | 240 | 72,000 | 3,17 |
| *Ports de Saint-Malo et Saint-Servan.* | | | | | | | | | | | | |
| Grand bassin de flot en exécution — Première zone pour bâtiments de guerre. | . . . | . . . | Dépense évaluée à 3,275,000 pour l'exécution. | 750 | 130 | 102,500 | 750 | 23 vaisseaux de 80 canons. | 41,600 | . . . | . . . | 7,50 |
| Grand bassin de flot en exécution — Deuxième zone pour forts navires de la marine | . . . | . . . | | 1,800 | 80 | 144,000 | 1,930 | 38 navires sur une ligne 106 navires sur deux lignes. | . . . | 550 | . . . | |
| Grand bassin de flot en exécution — Troisième zone pour bâtiments de rang inférieur | . . . | . . . | | 1,000 | 1,061 | 1,061,500 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | de 0,21 à 5,90 |
| *Port de commerce de Lorient.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot en exécution | . . . | . . . | | 530 | 67 | 57,000 | 530 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . |

| Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux bordures hautes mers de morte eau. | Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux bordures hautes mers de morte eau. | Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | Écluse à sas. Hauteur de mur de chute vers le sas. | Largeur du débouché des écluses simples ou à sas. Entre le pied des bajoyers. | Largeur du débouché des écluses simples ou à sas. Entre le haut des bajoyers. | Largeur du sas dans les écluses à sas. | Écluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête. | Écluse à sas. Longueur du sas. | Écluse à sas. Longueur de l'écluse de tête en tête. | Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc. | Fermetures avec portes tournantes. Longueur de chaque vantail. | Fermetures avec portes tournantes. Hauteur des vantaux. | Épaisseur totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en bois. | Épaisseur totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en fonte. | Observations. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m | m. | m. | m. | m. | m. | m | m. | m | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | |
| 4,20 | 6 70 | . . . | . . . | . . . | 11,70 | 13,63 | . . . | 36,00 | . . . | . . . | 2,20 | 7,80 | 7.70 | 0 50 | | |
| 4,13 Écluse de l'est. | 6,30 Écluse de l'est. | . . . | . . . | . . . | 11,16 | 13,63 | . . . | 32,00 | . . . | . . . | 2,10 | 8,00 | 7,50 | | | |
| 4,20 Écluse du sud. | 5,65 Écluse du sud. | . . . | . . . | . . . | 11,63 | 11,63 | . . . | 32,00 | . . . | . . . | 2,10 | 8,00 | 7,50 | | | |
| 3,75 | 6,25 | . . . | . . . | . . . | 10,00 | 10,00 | . . . | 41 70 | . . . | . . . | 2,40 | 7,00 | 7,80 | . . . | . . . | Cette écluse a deux jeux de portes placés en sens inverse. |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 10,00 | . . . | 40,00 | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 12,00 | . . . | 30 environ | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 30 environ | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | Écluse avec portes d'ebbe et de flot |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 10,00 | 30 | . . . | 70 | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | Ce sas est destiné à recevoir 6 navires à la fois. |
| Passe d'entrée. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.20 | 10,64 | . . . | . . . | . . . | . . . | 60,00 | | | | | | | | | | |
| 9,20 | 10,64 | . . . | . . . | . . . | 17,860 | 17,86 | . . . | 41,00 | . . . | . . . | 3,50 | 10,33 | 11,20 | 0,85 | . . . | Écluse avec pont tournant pour portes de flot et pour portes d'ebbe accorées par des valets |
| 9,20 | 10,64 | . . . | . . . | . . . | 21,00 projetés. | 21,00 projetés. | 100,00 | . . . | . . . | encore indéterminés. | | | . . . | . . . | . . . | Chaque écluse aura deux ponts tournants et deux jeux de portes. |
| 3,17 | 3,03 | . . . | . . . | . . . | . . . | 12,90 | . . . | 30,90 | | . . . | 2,86 | 7,82 | 6,74 | 0,49 | 0,32 dans les nouveaux châssis de fonte. | Écluse avec simples portes d'ebbe et pont tournant Dans les gros temps, il pourrait y avoir dans le bassin de flot 700 bâtiments, ayant en tout 36,000 tonneaux. |
| . . . | . . . | 5,50 | 8,75 | 1,25 | . . . | 17,00 | 72 | . . . | 78 | 185 environ. | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | Le sas éclusé aura double jeu de portes d'ebbe et de flot aux deux têtes, et deux ponts tournants. Le sas doit contenir 3 frégates ou 10 bâtiments ordinaires. |
| 3,60 | 4,80 | . . . | . . . | . . . | . . . | 10,00 | | | | | | | | | | |

| INDICATION DES PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES BASSINS ET DOCKS. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES ÉCLUSES D'ENTRÉE. | DÉPENSE TOTALE DE CONSTRUCTION. | LONGUEUR MOYENNE DES BASSINS DOCKS OU DARSES. | LARGEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE DE LA NAPPE D'EAU. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF DES QUAIS ACCOSTABLES. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | PROFONDEUR DE L'EAU DANS LE BASSIN, DOCK OU DARSE AUX MOINDRES HAUTES MERS DE MORTE EAU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Port du Palais, à Belle-Isle en mer.* | | | | | | | | | | | | |
| Premier bassin | ... | ... | ... | m. 200 | m. 40 | m. q. 8,000 | m 480 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Deuxième bassin de flot de carénage, dit la Saline | ... | ... | ... | 360 | 50 | 18,000 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port du Croisic.* | | | | | | | | | | | | |
| Premier bassin non éclusé | ... | ... | ... | ... | ... | 25,000 | | ... | ... | 200 | 50,000 | |
| Deuxième bassin | | | | | | | 1,800 | | | | | |
| Troisième bassin pour les bâtiments à sel | ... | ... | ... | ... | ... | 16,500 | | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de la Rochelle.* | | | | | | | | | | | | |
| Havre de la Rochelle | ... | ... | ... | 300 | 120 | 30,000 | 720 | | | | | |
| Bassin de flot | ... | ... | ... | 120 | 120 | 14,100 | 446 | 30 de bord à quai ou 42 sur 2 lignes | 4,860 / 6,804 | | | |
| *Port de Saint-Martin, à l'île de Ré.* | | | | | | | | | | | | |
| Bassin de flot en exécution | ... | ... | ... | ... | ... | 15,600 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Darses dans les ports sans marées hors de France.* | | | | | | | | | | | | |
| *Port du Ferrol en Espagne, dans l'Océan.* | | | | | | | | | | | | |
| Première darse à l'entrée, à l'ouest | ... | ... | ... | 339 | 351,40 | 120,142 | 1,020 | ... | ... | ... | ... | m. de 7 à 10,55 |
| Deuxième darse à l'est | ... | ... | ... | 412 | 266 | 100,572 | 1,066 | ... | ... | ... | ... | de 2,50 à 8,10 |
| *Port de Carthagène en Espagne, sur la Méditerranée.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse | ... | ... | ... | 459 | 266,7 | 122,415 | 781 | ... | ... | ... | ... | de 6,60 à 8,80 |
| *Port de Nice en Piémont.* | | | | | | | | | | | | |
| Avant-port et darse | ... | ... | ... | 255 | 122,7 | 31,05 | 680 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de Gênes.* | | | | | | | | | | | | |
| Première darse | ... | ... | ... | 110 | 90 | 9,900 | 370 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Deuxième darse | ... | ... | ... | 200 | 120 | 21,000 | 440 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port projeté à la Spezzia.* | | | | | | | | | | | | |
| Anse ou darse des Grâces | ... | ... | ... | 685 | 400 | 271,100 | 1,645 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Anse ou darse de Varignano | ... | ... | ... | 600 | 160 | 96,000 | 800 | ... | ... | ... | ... | ... |

| Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. | Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau. | Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | Écluse à sas. Hauteur du bus de chute vers le sas. | Largeur de débouché des écluses simples ou à sas. Entre le pied des bajoyers. | Largeur de débouché des écluses simples ou à sas. Entre le haut des bajoyers. | Largeur du sas dans les écluses à sas. | Écluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête. | Écluse à sas. Longueur du sas. | Écluse à sas. Longueur de l'écluse de tête en tête. | Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc. | Fermetures avec portes tournantes. Longueur de chaque vantail. | Fermetures avec portes tournantes. Hauteur des vantaux. | Épaisseur totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en bois. | Épaisseur totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en fonte. | Observations. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m. 3,00 | m. 4,50 | . . . | . . . | . . . | . . . | m. 10,60 | | | | | | | | | | |
| 3,00 | 4,50 | . . . | . . . | . . . | . . . | 10,40 | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 16,00 | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 10,00 | | | | | | | | | | |
| | | | | | Passe d'entrée. | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 254,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 103,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 76,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 45,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 22,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 18,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 222,00 | | | | | | | | | | | |
| . . . | . . . | . . . | . . . | . . . | 190,00 | | | | | | | | | | | |

| INDICATION DES PORTS, BASSINS DE FLOT, DOCKS ET DARSES. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES BASSINS ET DOCKS. | DÉPENSE DE CONSTRUCTION DES ÉCLUSES D'ENTRÉE. | DÉPENSE TOTALE DE CONSTRUCTION. | LONGUEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | LARGEUR MOYENNE DES BASSINS, DOCKS OU DARSES. | SUPERFICIE APPROXIMATIVE DE LA NAPPE D'EAU. | DÉVELOPPEMENT APPROXIMATIF DES QUAIS ACCOSTABLES. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | NAVIRES RANGÉS EN DEUX LIGNES SUR CHAQUE RIVE. TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. NOMBRE TOTAL QUE LE BASSIN, DOCK OU DARSE PEUT CONTENIR SIMULTANÉMENT. | NAVIRES RANGÉS EN TROIS LIGNES SUR CHAQUE RIVE. TONNAGE TOTAL DE CES NAVIRES. | PROFONDEUR DE L'EAU DANS LE BASSIN, DOCK OU DARSE AUX MOINDRES HAUTES MERS DE MORTE EAU. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Port de Livourne.* | | | | | | | | | | | | |
| Première darse à l'entrée, au nord | ... | ... | ... | m<br>250 | m.<br>155 | m. q.<br>38,730 | m.<br>560 | navires.<br>28 | ... | ... | ... | m.<br>3,58 à 4,88 |
| Deuxième darse au sud | ... | ... | ... | 250 | 160 | 36,800 | 360 | 27 | ... | ... | ... | 3,26 à 1,45 |
| *Port de Civita-Vecchia.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse unique au nord | ... | ... | ... | 200<br>envir. | 150 | 26,000 | 300 | | | | | |
| *Port de Venise.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse Novissima-Grande | ... | ... | ... | 330 | 142 | 49,680 | 1 170 | ... | ... | ... | ... | 4,10 |
| *Port de Trieste* | | | | | | | | | | | | |
| Darse de la ville | ... | ... | ... | 82 | 49 | 4,010 | 320 | ... | ... | ... | ... | 3,40 |
| Darse du lazaret | ... | ... | ... | 313 | 170 | 63,550 | 900 | ... | ... | ... | ... | 4,60 |
| *Darses et ports sans marées en France.* | | | | | | | | | | | | |
| *Port-Vendres sur la côte ouest de la Méditerranée.* | | | | | | | | | | | | |
| Première darse pour le commerce. | ... | ... | ... | 327 | 150 | 49,050 | 730 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Deuxième darse | ... | ... | ... | 115 | 90 | 10,350 | 300 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Troisième darse pour quarantaine. | ... | ... | ... | 75 | 90 | 6,750 | 290 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Quatrième darse projetée pour port militaire | ... | ... | ... | 325 | 173 | 39,373 | 575 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de Marseille.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse principale | ... | ... | ... | 950 | 300 | 270,000 | 1,785 | ... | ... | nav.<br>900 | ... | ... |
| *Port militaire de Toulon.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse vieille | ... | ... | ... | 511 | 320 | 163,520 | 1,225 | ... | ... | ... | ... | ... |
| Darse neuve | ... | ... | ... | 500 | 400 | 200 000 | 1,500 | ... | ... | ... | ... | ... |
| *Port de commerce de Toulon.* | | | | | | | | | | | | |
| Nouvelle darse de la Rode en exécution | ... | ... | ... | ... | ... | 50,000 | 285 | ... | ... | ... | ... | m.<br>4 |
| *Port de Saint-Tropez.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse | ... | ... | ... | ... | ... | 43,600 | 671 | ... | ... | 60 | | |
| *Port d'Antibes.* | | | | | | | | | | | | |
| Darse d'Antibes | ... | ... | ... | ... | ... | 42,000 | 624 | ... | ... | 100 | | |

| ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. | ÉCLUSE SIMPLE. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau | ÉCLUSE A SAS. Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires. | ÉCLUSE A SAS. Hauteur du mur de chute vers le sas. | LARGEUR du débouché des écluses simples ou à sas. Entre la pier des bajoyers. | LARGEUR du débouché des écluses simples ou à sas. Entre le haut des bajoyers. | LARGEUR DU SAS dans les écluses à sas. | ÉCLUSE SIMPLE. Longueur de l'écluse de tête en tête. | ÉCLUSE A SAS. Longueur du sas. | ÉCLUSE A SAS. Longueur de l'écluse de tête en tête. | FERMETURES avec portes tournantes. Saillie du busc. | FERMETURES avec portes tournantes. Longueur de chaque vantail. | FERMETURES avec portes tournantes. Hauteur des vantaux. | ÉPAISSEUR totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en bois | ÉPAISSEUR totale des vantaux au milieu de leur longueur. Vantaux en fonte. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | m. 30 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 30 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 11,80 Passe vers l'arsenal neuf. 21,00 Passe vers le canal dei Virgini. | | | | | | | | | | | Les célèbres cales couvertes de construction et de dépôt se trouvent sur les rives de cette darse. |
| | | | | | 10 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 14 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Passes. | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 130 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 120 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 75 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 100 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 80 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 30 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 30 | | | | | | | | | | | |

